

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

## ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№8 2023 (АВГУСТ)

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

Журнал издается с 2011 года.

### Редакция:

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

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

### Издатель:

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

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

E-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru)  
<http://www.nauteh-journal.ru>

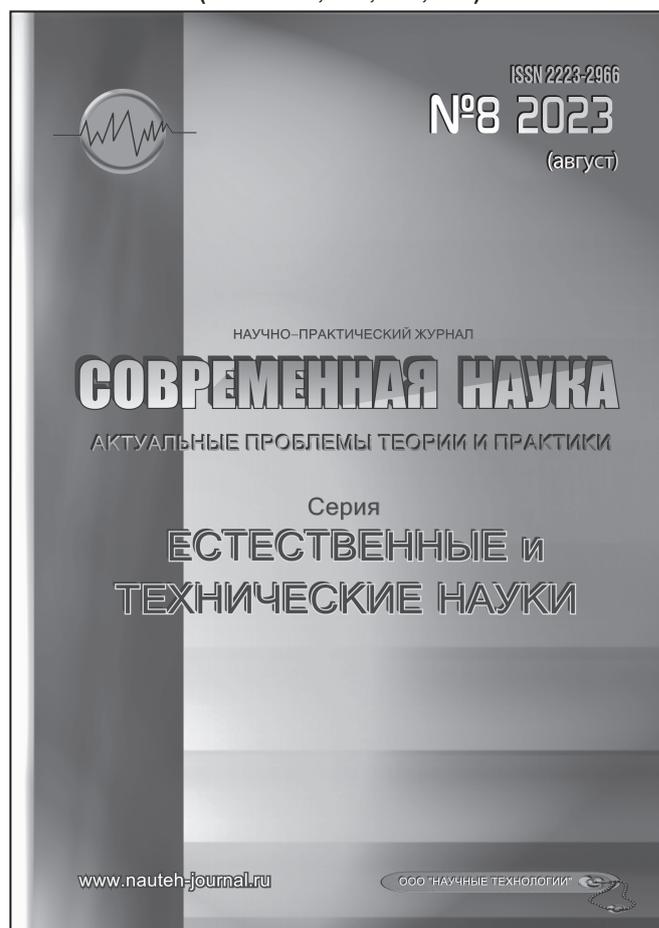
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



### В НОМЕРЕ:

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

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

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

Журнал отпечатан в типографии  
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296  
Подписано в печать 25.08.2023 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

**Андреанова А.В., Спицына Т.П., Пономарёва Ю.А., Ануфриева Т.Н.** — Современное состояние гидробиологических сообществ в низовье реки Ангары  
*Andrianova A., Spitsyna T., Ponomaryova Yu., Anufrieva T.* — Current status of hydrobiological communities in the lower Angara river .....7

**Антипова Е.М.** — Структура восточноазиатской хорологической группы флоры лесостепных экосистем средней Сибири  
*Antipova E.* — Structure of the east Asian chorological group of flora of forest-steppe ecosystems of central Siberia .....14

**Бахшалиева К.Ф., Махмудова С.И., Бунятова Л.Н., Исаева К.К., Гасанова А.Р.** — Некоторые аспекты ресурсного потенциала грибов рода *Trametes* Quel в условиях Азербайджана  
*Bakhshaliyeva K., Mahmudova S., Bunyatova L., Isayeva K., Hasanova A.* — Some aspects of resource potential of fungi of the genus *Trametes* Quel in the conditions of Azerbaijan .....20

**Маслова В.А., Германова С.Е., Бяхова В.М., Самброс Н.Б., Зинченко А.В.** — Сравнение и выявление возможных причин заражённости описторхозом, аскаридозом и энтеробиозом населения различных регионов Российской Федерации  
*Maslova V., Germanova S., Byakhova V., Sambros N., Zinchenko A.* — Comparison and identification of possible causes of opisthorchiasis, ascariasis and enterobiasis infestation in different region populations of the Russian Federation .....25

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Андрюшенков Д.Г., Хади Н.М., Ушкова Н.Н., Болотин К.В.** — Взаимосвязь искусственного интеллекта и видеонаблюдения в системе безопасности

*Andryushenkov D., Hadi N., Ushkova N., Bolotin K.* — The relationship of artificial intelligence and video surveillance in the security system .....30

**Бесленев А.М.** — Анализ внедрения искусственного интеллекта для оптимизации деятельности МВД России  
*Besleneev A.* — Analysis of the implementation of artificial intelligence for optimizing the activity of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation .....36

**Бирюлин В.И., Куделина Д.В.** — Компьютерное моделирование режимов работы системы с резистивно-заземленной нейтралью  
*Biryulin V., Kudelina D.* — Computer simulation of the system operation modes with resistive-grounded neutral .....40

**Васильев Р.А.** — Использование графовых нейронных сетей для решения задачи классификации вершин графа  
*Vasiliev R.* — Use of graph neural networks for solving the problem of classification of graph vertices .....46

**Высоцкая А.А., Пронина Е.Н.** — Динамика чисел Вольфа и структурные функции Колмогорова  
*Vysotskaya A., Pronina E.* — Dynamics of wolf numbers and structural functions of Kolmogorov...49

**Карелова О.Л., Алюшина Е.Р.** — Сравнительный анализ методов моделирования угроз информационной безопасности  
*Karelova O., Alyushina E.* — The comparative analysis of modeling methods against information security threats .....55

**Козлов Ю.Н.** — Компьютерный анализатор-томограф дефектов для проведения экспертизы промышленной безопасности опасных производственных объектов средствами ультразвуковой дефектоскопии  
*Kozlov Yu.* — Computer analyzer-tomograph of defects for examination of industrial safety of hazardous production facilities by means of ultrasonic flaw detection .....59

- Куделина Д.В., Бирюлин В.И.** — Компьютерное моделирование однофазных коротких замыканий в электрических сетях с низкоомным заземлением нейтрали  
*Kudelina D., Biryulin V.* — Computer simulation of the single-phase short circuits in electric networks with low-resistance neutral grounding .....69
- Куракин В.А., Потоцкий Д.Э., Годнев А.Г.** — Проверка соответствия метрологических характеристик измерительного канала температуры на основе термоэлектрического преобразователя требованиям программной методики проведения испытаний  
*Kurakin V., Pototsky D., Godnev A.* — Verification of compliance of the metrological characteristics of the temperature measuring channel based on the thermoelectric converter with the requirements of the program testing technique.....76
- Лебедева Ю.С.** — Особенности автоматизации процессов принятия решений в управлении авиакомпанией посредством технологий искусственного интеллекта  
*Lebedeva Yu.* — Features of automation of decision-making processes in airline management through artificial intelligence technologies.....82
- Ма Цзяхуэй** — Возможности использования искусственного интеллекта в различных сферах деятельности с целью повышения эффективности работы  
*Ma Jiahui* — The possibilities of using artificial intelligence in various fields of activity in order to improve work efficiency .....85
- Масленников В.В.** — Аспекты практического применения квантово-инспирированных алгоритмов для систем линейных уравнений  
*Maslennikov V.* — Aspects of the practical application of quantum-inspired algorithms for systems of linear equations .....90
- Перепелкин В.Ю.** — Выбор аппаратной платформы для машинного обучения  
*Perpelkin V.* — Choosing a hardware platform for machine learning.....96
- Писарева Н.Д.** — Функции приближения значения для частично наблюдаемых марковских процессов принятия решения  
*Pisareva N.* — Value approximation functions for partially observed Markov decision processes .... 100
- Попов О.Б., Чернышева Т.В., Абрамов В.А., Борисов А.А.** — Исследование искажений энергетических параметров сигналов звукового вещания по методу комплексного статистического оценивания  
*Popov O., Chernysheva T., Abramov V., Borisov A.* — Research of distortions of the energy parameters of audio broadcasting signals by the method of complex statistical estimation..... 103
- Попукайло В.С., Шмелёва А.В.** — Поиск архитектуры нейронной сети  
*Popukaylo V., Shmelyova A.* — Search for the architecture of a neural network ..... 110
- Смолянников И.В.** — Различные аспекты оптимизации сети интернета вещей  
*Smolyannikov I.* — Various aspects of optimizing the internet of things network ..... 114
- Тарасьев А.М., Михайлов Д.В., Тарасьев А.А.** — Идентификация новизны и актуальности в научном ландшафте на примере экономико-управленческих публикаций в сфере недвижимости  
*Tarashev A., Mikhailov D., Tarashev A.* — Identification of novelty and relevance in the scientific landscape on the example of economic and management publications in real estate..... 119
- Тюкин Г.С.** — Нейронные сети в повседневной жизни  
*Tyukin G.* — Neural networks in everyday life ..... 126
- Тюков А.П., Вишневецкий А.Р.** — Автоматизированное построение стратегии развития энергетического актива на основе моделирования  
*Tyukov A., Vishnevetsky A.* — Automated construction of an energy asset development strategy based on modeling ..... 130
- Цесарь А.А., Иващук О.А.** — Программное обеспечение визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети  
*Tsesar A., Ivashchuk O.* — Software for visualization of information on the state of road network objects..... 136

- Широкова Е.В., Евтушенко Н.В.** — Синтез безопасных компонентов веб-сервисов на основе решения автоматных уравнений  
*Shirokova E., Evtushenko N.* — Deriving safe components of web services based on the solution of FSM equations ..... 143
- Шоберг А.Г., Бабич П.В., Шоберг Г.А.** — Влияние блочного вида на результаты выполнения непрерывного вейвлет-преобразования  
*Shoberg A., Babich P., Shoberg G.* — Influence of block processing on the results of continuous wavelet transform ..... 151
- Клиническая медицина
- Байчоров Э.Х., Ганджа Н.С., Батуринов В.А., Байрамкулов Э.Д., Биджиева Ф.А.** — Анализ заболеваемости острым панкреатитом в Ставропольском крае в период 1996–2021 гг.  
*Baychorov E., Gandzha N., Baturin V., Bayramkulov E., Bidzhieva F.* — Analysis of the incidence of acute pancreatitis in the Stavropol Territory from 1996 to 2021..... 156
- Байчоров Э.Х., Ганджа Н.С., Герасимова Е.С., Боташев Р.А., Цороева Л.М.** — Пути повышения эффективности лечения больных панкреонекрозом  
*Baychorov E., Gandzha N., Gerasimova E., Botashev R., Tsoroeva L.* — Ways to improve the effectiveness of treatment of patients with pancreatic necrosis ... 160
- Забродняя В.К., Трунова О.А., Чайковская И.В.** — Состояние показателей гуморальной защиты в крови у пациентов в патогенезе хронического генерализованного пародонтита на фоне инсулинозависимого сахарного диабета  
*Zabrodnyaya V., Trunova O., Tchaikovskaya I.* — The state of humoral protection in the blood of patients in the pathogenesis of chronic generalized periodontitis against the background of insulin-dependent diabetes mellitus..... 165
- Забродняя В.К., Трунова О.А., Чайковская И.В.** — Возможности и перспективы комплексного лечения хронического генерализованного пародонтита на фоне инсулинозависимого сахарного диабета  
*Zabrodnyaya V., Trunova O., Tchaikovskaya I.* — Possibilities and prospects of complex treatment of chronic generalized periodontitis against the background of insulin-dependent diabetes mellitus 170
- Карпова Р.В., Русскова К.С., Щекотуров И.О., Некрасова Т.П., Жаркова М.С.** — Миниинвазивные хирургические методы лечения портальной гипертензии у больных циррозом печени  
*Karpova R., Russkova K., Shchekoturov I., Nekrasova T., Zharkova M.* — Minimally invasive surgery in treatment of portal hypertension in patients with liver cirrhosis ..... 175
- Карсанов А.М., Маскин С.С., Вахоцкий В.В.** — Принципы и критерии дифференцированной профилактики венозных тромбозных осложнений в онкохирургии  
*Karsanov A., Maskin S., Vakhotsky V.* — Principles and criteria for differentiated prevention of venous thromboembolic complications in oncosurgery .. 180
- Лисовская Д.Е.** — Современные методы лечения посттравматических рубцов в косметологии: обзор эффективных процедур и технологий  
*Lisovskaya D.* — Modern methods of treatment of post-traumatic scars in cosmetology: an overview of effective procedures and technologies ..... 186
- Мальцев А.И., Корягина Н.А., Корягин В.С.** — Клинико-лабораторная характеристика пациентов, перенесших инфаркт миокарда в сочетании с нарушениями углеводного обмена во время пандемии новокоронавирусной инфекции  
*Maltsev A., Koriagina N., Koriagin V.* — Clinical and laboratory characteristics of patients who suffered myocardial infarction in combination with carbohydrate metabolism disorders during the new coronavirus pandemic ..... 190
- Молчанова Е.Е., Гончарова О.М., Решетникова Л.К.** — Опыт применения немедикаментозных технологий в коррекции постинсультных психоэмоциональных расстройств  
*Molchanova E., Goncharova O., Reshetnikova L.* — Experience of application of non-drug technologies in the correction of post-stroke psychoemotional disorders ..... 196
- Рожкова М.Г., Павлова С.Г., Васильева Н.А., Фищев С.Б., Севастьянов А.В., Шторина А.А., Пузырева М.Н., Кондратюк А.А.** — Результаты исследования макродонтных зубных дуг долихогнатического типа

<i>Rozhkova M., Pavlova S., Vasilyeva N., Fischev S., Sevastyanov A., Shtorina A., Puzdyreva M., Kondratyuk A.</i> — The results of the study of macrodont dental arches of the dolichognathic type.....	201
<b>Уфимцева И.В., Пирогова И.Ю., Вереина Н.К.</b> — Особенности сочетанного течения неалкогольной жировой болезни печени и желчнокаменной болезни <i>Ufimtseva I., Pirogova I., Vereina N.</i> — Features of the combined course of non-alcoholic fatty liver disease and cholelithiasis.....	205
<b>Уфимцева И.В., Яковлева С.В.</b> — Предикторы, влияющие на течение и эффективность терапии НАЖБП препаратами УДХК <i>Ufimtseva I., Yakovleva S.</i> — Predictors affecting the course and effectiveness of NAFLD therapy with UDCA drugs.....	215
<b>Федоров А.В., Калитко И.И., Черняев М.В., Файбушевич А.Г.</b> — Успешное комбинированное лечение язв Марторелла <i>Fedorov A., Kalitko I., Chernyaev M., Faybushevich A.</i> — Successful combination treatment of Martorella ulcers.....	222

# СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СООБЩЕСТВ В НИЗОВЬЕ РЕКИ АНГАРЫ

## CURRENT STATUS OF HYDROBIOLOGICAL COMMUNITIES IN THE LOWER ANGARA RIVER

**A. Andrianova  
T. Spitsyna  
Yu. Ponomaryova  
T. Anufrieva**

*Summary.* Hydrobiological communities (phyto-, zooplankton, phytoplankton, zoobenthos) of the Angara River lower reach were studied in the summer period of 2022. Structural organization of communities and quantitative characteristics were determined. Plankton is represented by a complex of fluvial and limnic species that come in transit from Boguchanskoye reservoir. In zoobenthos, tolerant taxa (amphipods, chironomids, oligochaetes) prevailed.

*Keywords:* Angara River, plankton, phytoplankton, zoobenthos, structural organization, abundance, biomass.

**Андрианова Анна Владимировна**

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Институт вычислительного моделирования СО РАН (Красноярск)  
andrav@icm.krasn.ru

**Спицына Татьяна Павловна**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (Красноярск),  
t-spitsina@mail.ru

**Пономарёва Юлия Андреевна**

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (Красноярск),  
ponomarevayulia@mail.ru

**Ануфриева Татьяна Николаевна**

Кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева (Красноярск)  
li-777@yandex.ru

*Аннотация.* В летний период 2022 г. исследованы гидробиологические сообщества нижнего участка р. Ангары (фито-, зоопланктон, фитоперифитон, зообентос). Определены структурная организация сообществ и количественные характеристики. Планктон представлен комплексом из речных и лимнических видов, которые поступают транзитом из Богучанского водохранилища. В зообентосе преимущество получили толерантные таксоны (амфиподы, хирономиды, олигохеты).

*Ключевые слова:* р. Ангара, планктон, фитоперифитон, зообентос, структурная организация, численность, биомасса.

### Введение

Исследование состояния водных экосистем в настоящее время является одной из важнейших проблем современности. Поскольку от изучения экологических основ использования, от анализа и прогноза изменений в биоте, от охраны водных объектов, а также от объективного контроля за состоянием экосистемы и качеством воды зависит устойчивое развитие и экономический рост России.

Реконструкция гидростроительством и интенсивное комплексное использование крупной водной артерии

Сибири — реки Ангара, привели к необходимости планирования мероприятий по рациональной эксплуатации и сохранению экологического равновесия реки, а также к разработке подходов и критериев оценки её состояния. Для достижения этого необходимо определять реакцию основных звеньев пищевой цепи гидробионтов на влияние разнообразных факторов окружающей среды.

Ранее проводились многолетние исследования гидробиологических сообществ реки Ангары и её водохранилищ [5, 6, 8, 15]. Однако в настоящее время наблюдается существенный пробел в современных исследованиях

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Краевого государственного автономного учреждения «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» и ООО «Нижнебогучанская ГЭС» в рамках договора № 488 от 09.09.2022

нижнего не зарегулированного участка Ангары, имеются лишь фрагментарные сведения о водных биоценозах [3, 16]. В связи с этим, целью работы являлась оценка современного состояния гидробиологических сообществ Нижней Ангары на участке от плотины Богучанской ГЭС до устья.

**Материалы и методы**

Материалом для данного исследования послужили гидробиологические пробы (фитопланктон, фитобентос, зоопланктон и зообентос), отобранные в нижнем течении р. Ангары (445 — 9 км от устья) в августе 2022 г. на 11 поперечных створах. Сбор и обработку материала проводили согласно общепринятым методическим рекомендациям [13]. Пробы фитопланктона отбирали у обоих берегов и в середине реки; фитоперифитона, зоопланктона и зообентоса — только в прибрежье. Пробы

планктона отбирали в поверхностном слое воды, микрофитоперифитона — с естественных субстратов на площади 16 см<sup>2</sup>. Зоопланктон собирали путем процеживания 100 л воды через сеть Апштейна (размер ячейки 67 мкм). Зообентос собирали на глубине до 1,5 м гидробиологическим скребком Дулькейта (площадь захвата 1/7 м<sup>2</sup>) в двух повторностях. Всего проанализировано 33 пробы фитопланктона, по 22 пробы фитоперифитона и зоопланктона, и 44 пробы зообентоса. Индекс видового разнообразия Шеннона рассчитан для фитоценозов по биомассе, для зооценозов — по численности.

**Результаты и обсуждение**

**Фитопланктон.** В составе фитопланктона выявлено 107 видов, разновидностей и форм водорослей из 8 отделов, 14 классов, 31 порядка, 45 семейств, 69 родов. Наибольшим богатством отличался отдел

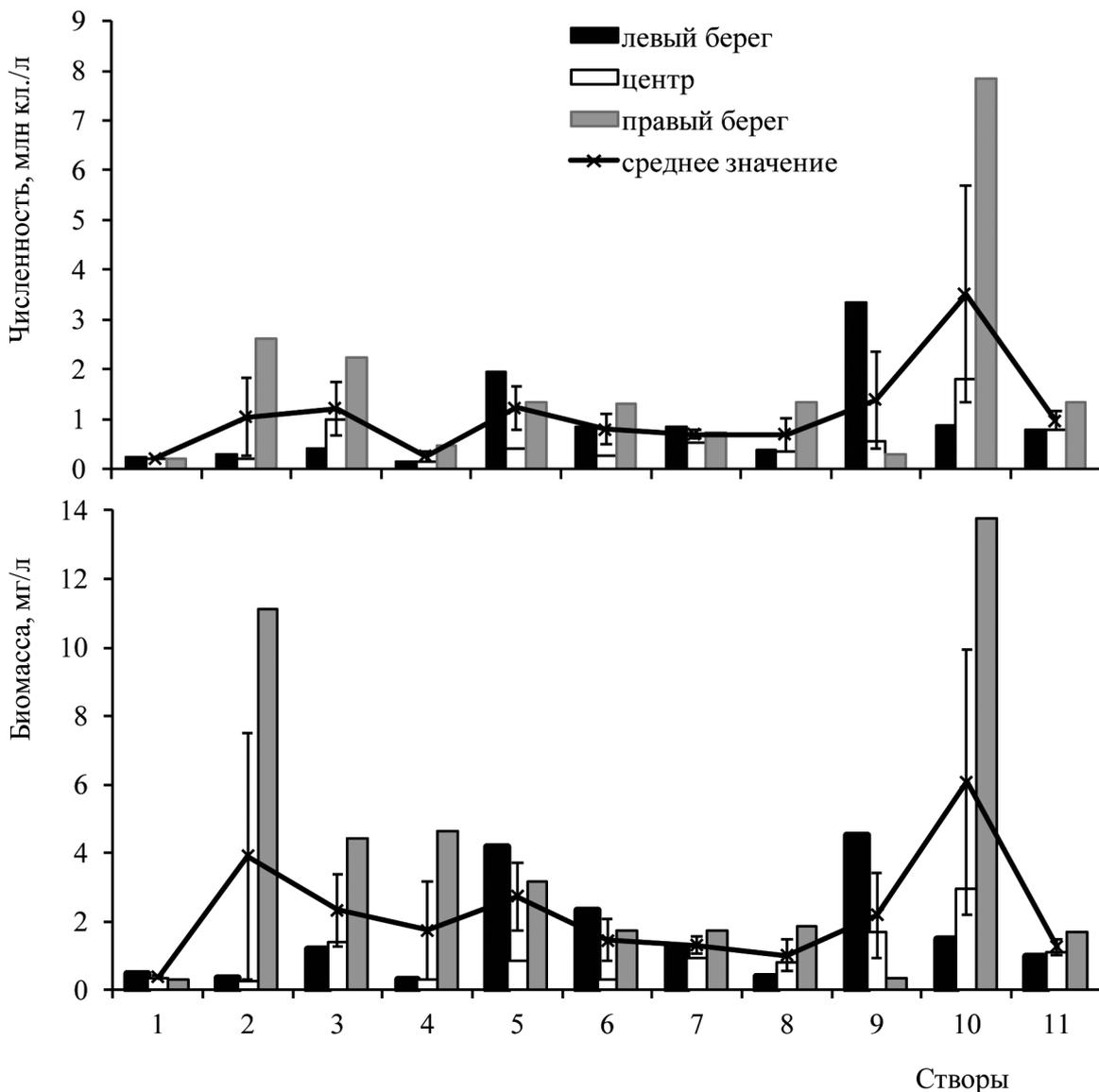


Рис. 1. Пространственная динамика численности и биомассы фитопланктона в низовье р. Ангары

Bacillariophyta (58 видовых таксонов), на втором месте — отдел Chlorophyta (18 видов), отделы Cyanobacteria и Charophyta представлены 12 и 7 видами соответственно; остальные отделы (Miozoa, Ochrophyta, Cryptista и Euglenozoa) включали по 3 вида. Преобладание в структуре фитопланктона диатомовых водорослей является характерной чертой другой крупной реки Сибири — Оби [14], а их состав является отражением всех процессов, происходящих в водоеме, поскольку данный отдел характеризуется большим видовым разнообразием и наличием видов с узкой экологической валентностью. Большинство выявленных видов водорослей относятся к бентосным и планкто-бентосным экологическим группировкам.

В пространственной динамике максимальным видовым разнообразием отличался фитопланктон на правом берегу створа 2 (53 вида) в условиях слабого течения. Минимальное количество видов (36) зафиксировано на створе 1. Количество видов водорослей в пробах высокое для планктона рек (от 34 до 58). Индекс Шеннона варьировал от 2,5 до 3,6 и в среднем по участку составил  $3,1 \pm 0,1$  бит. Следует отметить, что значения индекса разнообразия выше двух указывают на большую степень сложности сообществ.

Доминирующий комплекс представлен диатомовыми водорослями *Fragilaria crotonensis* Kitton, *Tabellaria fenestrata* (Lyngbye) Kützing, *Ulnaria ulna* (Nitzsch) Compère, *Cocconeis placentula* Ehrenberg и в меньшей степени цианобактериями рода *Dolichospermum* (*D. floxaquae* (Brébisson ex Bornet & Flahault) P. Wacklin et al., *D. lemmermannii* (Richter) P. Wacklin et al.). Основу сообществ фитопланктона составляли представители Bacillariophyta: в среднем  $70 \pm 3$  % общей численности и  $80 \pm 3$  % общей биомассы. Исключение составляет правобережная станция створа 4, где по уровню развития биомассы преобладала повсеместно распространенная десмидиевая водоросль *S. paradoxum* (87 % от общей биомассы), предпочитающая экотопы с замедленным течением [4], развитие которой также характерно для альгофлоры мелководных озёр и болотистых мест [10].

Таблица 1.

Численность (N) и биомасса (B) фитопланктона и фитоперифитона на поперечном профиле реки

Профиль реки	Фитопланктон		Фитоперифитон	
	N, млн кл./л	B, мг/л	N, млн. кл./см <sup>2</sup>	B, мг/см <sup>2</sup>
Левый берег	$0,9 \pm 0,3$	$1,6 \pm 0,5$	$55 \pm 44$	$7,9 \pm 5,1$
Правый берег	$1,8 \pm 0,7$	$4,1 \pm 1,3$	$1118 \pm 1082$	$20,3 \pm 17,2$
Центр	$0,6 \pm 0,2$	$1,0 \pm 0,2$	—	—

Примечание: «прочерк» — нет данных

Наименьшее развитие водорослей отмечено на створе 1, наибольшее — на створе 10 (рис. 1). В среднем по участку численность составила  $1,1 \pm 0,3$  млн кл./л, биомасса —  $2,2 \pm 0,5$  мг/л. Прибрежье реки характеризовалось более высокой плотностью водорослей по сравнению с центром русла (табл. 1).

**Фитоперифитон.** В составе фитоперифитона выявлено 95 видов, разновидностей и форм водорослей из 8 отделов, 13 классов, 28 порядков, 41 семейства, 60 родов. Наибольшим богатством отличался отдел Bacillariophyta — 52 видовых таксона; отделы Cyanobacteria, Chlorophyta и Charophyta включали 16, 14 и 8 видов соответственно. Остальные отделы Cryptista, Euglenozoa, Miozoa и Ochrophyta являлись одно- и дву-видовыми.

Значительным видовым разнообразием отличался фитоперифитон створа 3 — 46 таксонов водорослей, для развития которых сложились благоприятные условия (наличие течения и большого количества макрофитов). Минимальное количество видов (22) зафиксировано на створах 8 и 9. На правобережье, начиная со створа 4, наблюдается постепенное снижение количества видов (с 30 до 13). Индекс Шеннона варьировал от 0,8 до 3,7 бит, среднее по исследованному участку значение составило  $2,4 \pm 0,2$  бит. Низкие значения индекса Шеннона отмечались на заиленном песке створа 5 (основу биомассы составляли желтозеленые *Tribonema minus* (Wille) Hazen), а также на створе 8 при абсолютном доминировании повсеместно распространенной планктонно-бентосной синезеленой водоросли *Nostoc pruniforme* C.Agardh ex Bornet & Flahault, которая может формировать шаровидные и эллипсоидальные плотные колонии диаметром до 8 см.

В реках бассейна р. Енисей фитоперифитон и фитобентос наиболее широко представлены литореофильным комплексом водорослей. Наряду с ними широкое распространение приобретают типично бентосные формы, а также планктонные виды, осевшие из толщи воды [14], что подтверждается настоящим исследованием в р. Ангаре. Большинство выявленных видов водорослей в фитоперифитоне относятся к бентосным и планкто-бентосным экологическим группировкам. В видовом разнообразии и структуре фитоперифитонных сообществ Ангары большую роль играли диатомовые водоросли, что является обычным для альгофлор рек различной величины [9, 12]. Представители других отделов водорослей в формировании перифитона водотоков обычно создают не более 2–3 % разнообразия [9, 19].

Основу численности фитоперифитона (от 50 до 99 %) на многих створах составляли цианобактерии *N. pruniforme*; на створах 1, 2, 9, 11 доминирова-

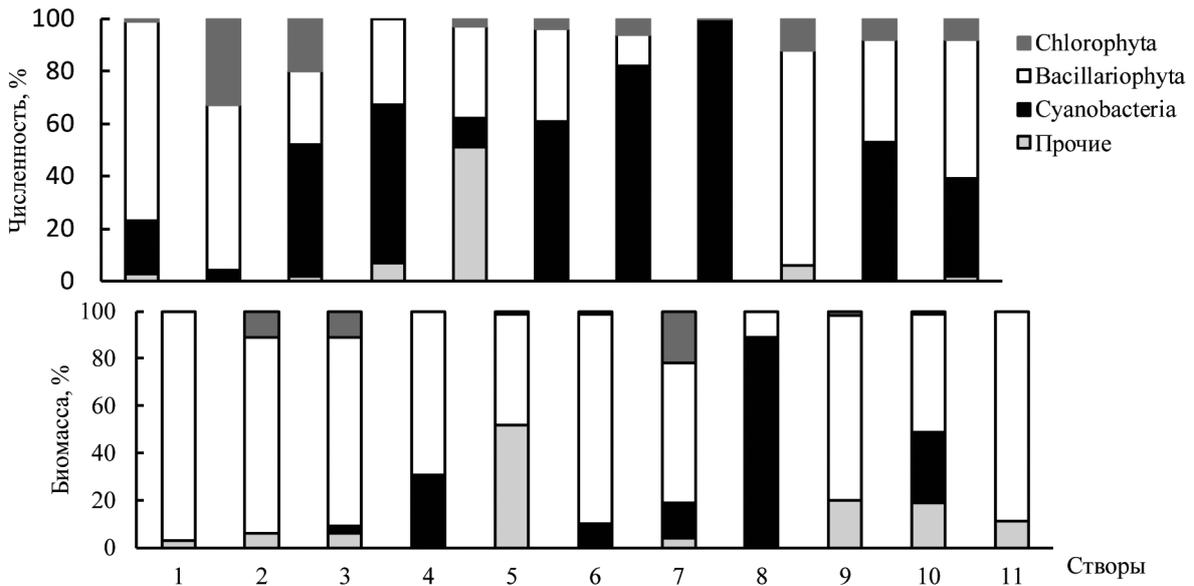


Рис. 2. Структурная организация сообществ фитоперифитона в низовье р. Ангары

ли диатомовые водоросли *Cymbella ventricosa* Kützing, *F. crotonensis*, *Epithemia sorex* Kützing (53–82 %); на створе 5 лидировали представители отдела Ochrophyta *T. minus* (рис. 2). Общая биомасса перифитона обусловлена диатомовыми водорослями *Didymosphenia geminata* (Lyngbye) Mart. Schmidt, *E. sorex*, *Gomphonema ventricosum* W. Gregory, при этом доля цианобактерий низкая в связи малым размером клеток и определяется главным образом вегетацией крупноклеточных водорослей. Особо велика роль цианобактерий на створе 8.

Диапазон варьирования количественных показателей фитоперифитона достигал нескольких порядков в связи с традиционной неравномерностью пространственного распределения и разноразмерностью видов водорослей. Повышенные значения численности фитоперифитона отмечались у правого берега (табл. 1) в присутствии синезеленых водорослей. Минимальные значения численности зафиксированы на левом берегу створа 1 (0,2 млн кл./см<sup>2</sup>), биомассы — на левом берегу створа 6 (0,4 мг/см<sup>2</sup>). Средняя по исследованному участку численность составила 586±541 млн кл./см<sup>2</sup>, биомасса — 14,18±8,8 мг/см<sup>2</sup>.

**Зоопланктон.** В сообществах зоопланктона обнаружено 88 таксономических единиц, из них Cladocera — 26, Copepoda — 19, Rotifera — 43. Максимальное видовое разнообразие (35) наблюдалось на створе 2 (423 км до устья), минимальное (15) — на створе 9 (270 км до устья). На протяжении исследуемой акватории зоопланктон был представлен многочисленными и разнообразными ветвистоусыми рачками: хидоридами родов *Alona*, *Alonella*, *Acroperus*, *Chydorus sphaericus*; цебриодафиями, босминами, дафниями, фитофильными кладоцерами рода *Macrothrix*, *Ilyocryptus sordidus*, *Sida crystalline*, *Simocephalus vetulus*. Следует отметить, что

кладоцеры, тяготеющие к обитанию в пелагиали озерных водоемов (представители рода *Daphnia*, *Bosmina longispina*, *Diaphanosoma brachyurum*) были зарегистрированы на створах 1–3 — наиболее близких к Богучанской ГЭС, что свидетельствует об их транзитном происхождении и стоке из водохранилища. Группу веслоногих рачков составляли взрослые и неполовозрелые циклопы, часть которых тяготела к обитанию в зарослях макрофитов (*Paracyclops fimbriatus*, *Macrocyclus albidus*, виды рода *Eucyclops*), придонные гарпактициды. На створах 1–3 были обнаружены разновозрастные калляниды *Eudiaptomus graciloides*, обитатели глубинных слоев водохранилищ, а на створах 1–6 — лимнофильные циклопы, что также свидетельствует об их транзитном происхождении из вышерасположенного водохранилища. Фауна коловраток разнообразна и представлена смешанным, лимно-реофильным комплексом видов: рр. *Euchlanis*, *Trichothria*, *Notholca*, *Testudinella patina*, *Polyarthra dolichoptera*, *Keratella cochlearis*, *Keratella quadrata*, *Kellicottia longispina*, *Trichocerca longisetia* и др.

На речных участках с сильным течением биоразнообразие и обилие гидробионтов уменьшалось, зоопланктонные сообщества были упрощены. Индекс видового разнообразия Шеннона варьировал от 1,9 до 4,0 бит/экз. и в среднем составил 2,7±0,1 бит/экз.

Структурообразующий комплекс видов включал ветвистоусых рачков рода *Alona*, *Biapertura affinis*, *Disparalona rostrata*, *Chydorus sphaericus*; на участках, близких к Богучанской ГЭС к ним присоединялись лимнофильные кладоцеры рр. *Bosmina* и *Daphnia*. Из группы веслоногих рачков — взрослые и неполовозрелые (науплиальные и копеподитные стадии) циклопы родов *Cyclops*, *Eucyclops*, *Mesocyclops leuckarti*, представители сем. Harpacticoidae. Коловраточную струк-

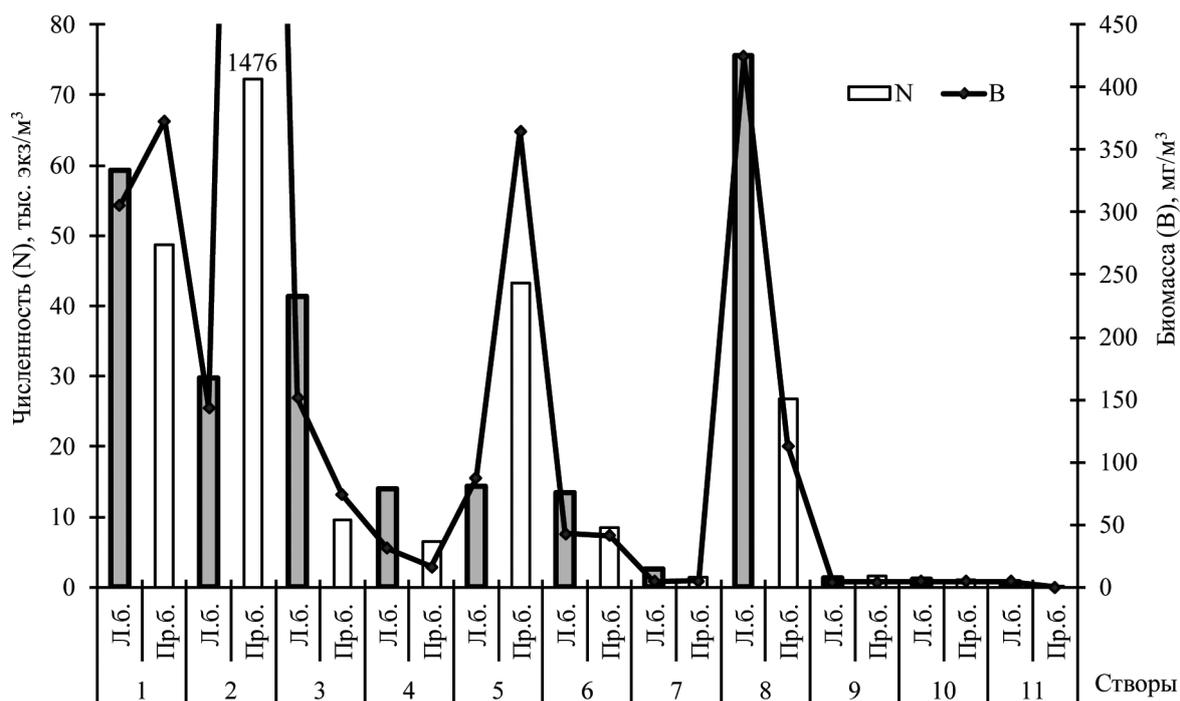


Рис. 3. Численность и биомасса зоопланктона в низовье р. Ангары (Л.б. — левый берег, Пр.б. — правый берег)

туру определяли виды *Euchlanis dilatata*, *Euchlanis lyra*, *Polyarthra dolichoptera*, *Testudinella patina*, *Trichocerca longiseta*, *Kellicottia longispina* (исключая 11 створ), виды рр. *Notholca*, *Keratella*, *Trichothria*.

Минимальные величины численности и биомассы гидробионтов были зарегистрированы на створе 11 (0,09 тыс. экз./м³ и 0,25 мг/м³), максимальные — у правого берега створа 2 (72,3 тыс. экз./м³ и 1476,5 мг/м³) (рис. 3). Средняя по исследованному участку численность составила  $21,5 \pm 5,2$  тыс. экз./м³, биомасса —  $167,2 \pm 68,8$  мг/м³. Ведущую роль в плотности зоопланктонных сообществ играли веслоногие ракообразные. Варьирование величин биомассы на различных участках зависело от наличия в сообществах немногочисленных, но крупных веслоногих и ветвистоусых рачков.

В сравнении с более ранними исследованиями [5, 11, 16] наши данные свидетельствуют об увеличении количественных показателей зоопланктона Ангары на оставшемся не зарегулированном участке, что произошло вследствие стока озерного планктона (более многочисленного и крупного, чем речного) из Богучанского водохранилища и его транзита по реке практически до устья.

**Зообентос.** Биотопы зообентоса представлены в основном галечно-песчаным грунтом с разной степенью заиливания. Для р. Ангара характерно зарастание высшей водной растительностью (мхами, рдестами) полосами на мелководье вдоль берегов, островов и мелей. В зообентосе выявлено 87 видов и таксонов более высокого ранга, широко распространенных в Палеарктике и Го-

ларктике. Наибольшее количество видов (37) отмечено среди личинок хирономид, второе место принадлежало ручейникам (10); поденки и олигохеты представлены 8 видами, амфиподы — 7. В остальных таксономических группах (брюхоногие и двустворчатые моллюски, пиявки, планарии, ногохвостки, веснянки) выявлено по 1–3 вида. Наибольшее видовое разнообразие выявлено на створах 7 и 11, наименьшее — на створах 1, 6 и 8. Среднее значение индекса Шеннона по участку реки составило  $2,3 \pm 0,1$  бит/экз.

Доминирующие комплексы в зообентосе Ангары представлены в основном амфиподами байкальского происхождения и хирономидами, эпизодически дополнялись олигохетами. Среди амфипод распространены *Micruropus sp.*, *Philolimnogammarus viridis* (Dybowski, 1874), *Gmelinoides fasciatus* (Stebbing, 1899), *Pallasea cancelloides* (Gerstfeldt, 1858). В семействе хирономид лидирующие позиции занимали *Microtendipes pedellus* (De Geer, 1776) и *Micropsectra* гр. *praesox*. Следует отметить, что *M. pedellus* относится к эвритопным видам, которые обитают на различных типах грунта, не только в проточных, но и в стоячих водоемах, например в озерах Волжского бассейна [7], а также входят в доминирующие комплексы в бассейнах Енисея [1] и Чулыма [18]. На первых двух створах на мягких грунтах высокой численности достигали *Sergentia* гр. *coracina*, *Diplocladius cultriger* Kieffer, 1908, *Paracladius conversus* (Walker, 1856), *Pseudodiamesa* гр. *nivosa*, *Chironomus sp.* Ниже по течению преимущество получили *Pagastia orientalis* (Tshernovskiy, 1949), *Prodiamesa olivacea* (Meigen, 1818), *Epoicocladus flavens* (Malloch, 1915), *Tanytarsus pallidicornis* (Walker,

1856), *Cladotanytarsus* гр. *mancus*, *Polypedilum scalaenum* (Schrank, 1803) и представители родов *Cricotopus* и *Orthocladius*.

На половине исследованных створов зафиксировано высокое обилие олигохет *Uncinails uncinata* (Levinsen, 1884), *Tubifex tubifex* (O.F.Muller, 1773), *Eiseniella tetraedra* (Savigny, 1826) и *Lumbriculus variegatus* (O.F.Muller, 1773). Среди прочих организмов наибольшее преимущество имели поденки *Ephemera sachalinensis* (Matsumura, 1931) и ручейники *Apatania zonella* (Zetterstedt, 1840), которые так же распространены в Енисее [1].

Количественное преимущество в зообентосе принадлежало амфиподам (рис. 4), они определяли свыше 60 % численности и биомассы. Их численность по участку реки составила  $1,7 \pm 0,2$  тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса —  $10,2 \pm 1,3$  г/м<sup>2</sup>. Хирономиды главенствовали над амфиподами лишь на илистом грунте створа 2. По району исследования они обусловили 24 % численности и 10 % биомассы донных сообществ; плотность составила  $1,0 \pm 2,6$  тыс. экз./м<sup>2</sup> при биомассе  $1,6 \pm 0,7$  г/м<sup>2</sup>. Средняя численность зообентоса на исследованном участке Ангары составила  $2,9 \pm 0,3$  тыс. экз./м<sup>2</sup>, биомасса —  $14,6 \pm 1,6$  г/м<sup>2</sup>. Низовье реки (створы 10, 11) характеризовалось наименьшим уровнем развития донных беспозвоночных (рис. 4).

Известно, что зарегулирование рек оказывает существенное воздействие на сообщества донных беспозвоночных ниже плотин. В частности, отмечается структурная перестройка сообществ и снижение соотношения чувствительных (поденки, веснянки, ручейники) к толерантным (хирономиды, олигохеты, амфиподы) таксонам [20, 21]. По прошествии 20 лет на исследованном участке Ангары численность бентоса увеличилась незначительно, однако биомасса выросла вдвое, при этом заметно снизилась доля поденок, ручейников и моллюсков [3]. Аналогичные изменения в составе донной фауны наблюдались не только в Ангаре, но и в Енисее. После зарегулирования Красноярской ГЭС практически исчезли веснянки и мошки, значительно уменьшилось число видов и количество ручейников и поденок. В то же время произошел рост общих количественных показателей бентоса, обусловленный распространением байкальских амфипод вверх по течению Енисея, а также массовым развитием хирономид и олигохет [2].

**Заключение**

Гидробиологические сообщества нижнего участка р. Ангары характеризовались высоким видовым богатством. Основу фитоценозов составляли диатомовые и синезеленые водоросли. Зоопланктон представляли

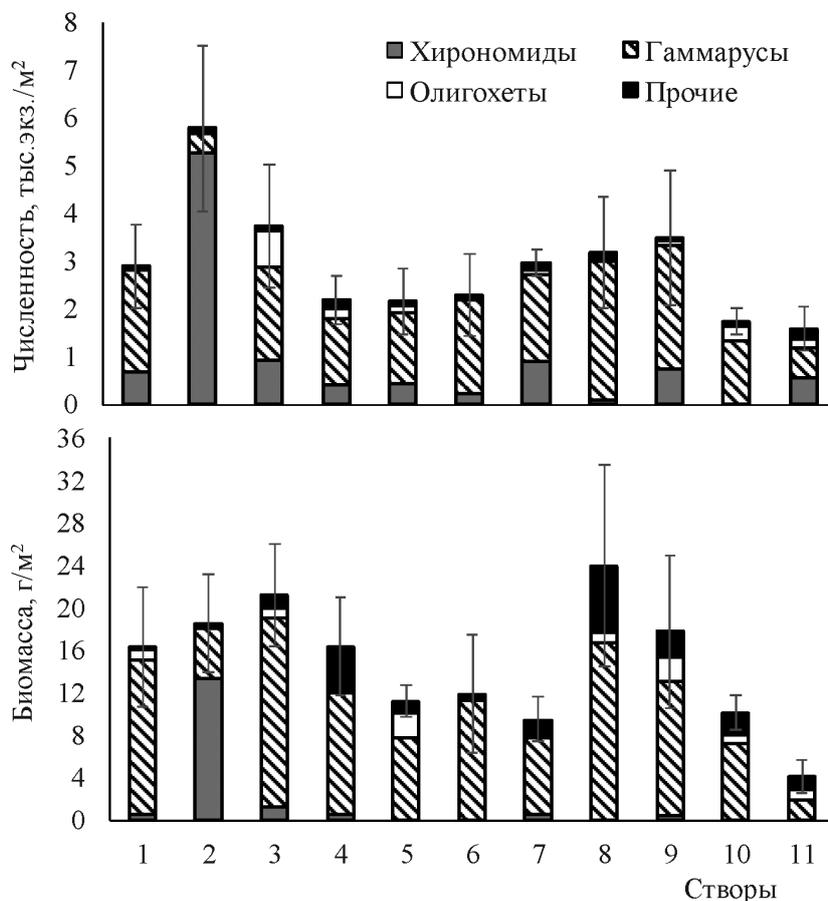


Рис. 4. Структурная организация, численность и биомасса донных сообществ в низовье р. Ангары

кладоцеры, копеподы и коловратки. На структурную организацию планктонных сообществ оказывает влияние Богучанское водохранилище, из которого транзитом поступают виды, тяготеющие к лимническим условиям. С приближением к устью под влиянием притоков наблю-

далась постепенная трансформация в речной комплекс планктонных видов. Донная фауна состояла из толерантных таксонов (амфипод, хирономид и олигохет), которые, как и в р. Енисей вышли на лидирующие позиции после зарегулирования реки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианова А.В., Дербинева Е.В., Гадинов А.Н., Кривоуцкий Д.А., Мельников И.И. Кормовая база и потенциал рыбопродуктивности бассейна Енисея (верхнее и среднее течение) // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 45. С. 142–163. <https://doi.org/10.17223/19988591/45/8>
2. Андрианова А.В. Динамика развития енисейского зообентоса в нижнем бьефе Красноярской ГЭС // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 1 (21). С. 74–88. <https://doi.org/10.17223/19988591/21/6>
3. Бажина Л.В., Клеуш В.О. Макрозообентос Красноярской акватории реки Ангара до наполнения водохранилища Богучанской ГЭС // Чтения памяти Леванидова В.Я. 2014. Вып. 6. С. 66–77.
4. Баранова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. — 498 с.
5. Башарова Н.И., Шевелева Н.Г. Основные особенности формирования зоопланктона Ангаро-Енисейских водохранилищ // Гидробиологический журнал, 1993. — 29 — С. 9–15
6. Воробьева С.С. Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск: Наука. Сибирская издат. фирма РАН, 1995. — 126 с.
7. Демина И.В., Ермохин М.В., Полуконова Н.В. Сообщества макрозообентоса пойменных озер долины р. Волги (окр. г. Энгельса) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13, вып. 1. С. 84–96.
8. Кожова О.М., Путятин Т.Н., Томилов А.А., Ербаева Э.А. Гидробиологический режим Ангаро-Енисейских водохранилищ. Методические аспекты прогнозирования природных явлений Сибири. Новосибирск: Наука, 1980. — С. 13–23.
9. Комулайнен С.Ф. Экология фитоперифитона малых рек Восточной Финляндии. Петрозаводск, 2004. — 182 с.
10. Копырина Л.И. Влияние паводков на видовое разнообразие и структуру водорослей водоемов бассейна реки Алазея // Сибирский экологический журнал, 2014. — № 5. — С. 737–749.
11. Космаков И.В., Шулепина С.П., Космаков В.И., Ануфриева Т.Н. Биота некоторых водных объектов Средней Сибири. — Новосибирск: Наука, 2022. — 270 с.
12. Левадная Г.Д. Микрофитобентос реки Енисей. Новосибирск: Наука, 1986. — 286 с.
13. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. В.А. Абакумова. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. — 317 с.
14. Семенова Л.А. Многолетние исследования фитопланктона Нижней Оби // Вестн. экологии лесоведения и ландшафтоведения, 2009. — Вып. 9. — С. 163–173.
15. Усольцева М.В., Титова Л.А. Фитопланктон приплотинного участка Богучанского водохранилища в 2016 — 2017 гг. // Acta Biologica Sibirica, 2017. — № 3 (3). — С. 57–65.
16. Шевелёва Н.Г., Воробьева С.С. Состояние и развитие фито— и зоопланктона нижнего участка Ангары, прогноз формирования планктона в Богучанском водохранилище // Сибирский федеральный университет. Biology, 2009. № 3. — С. 313–326.
17. Шевелева Н.Г. Формирование зоопланктона Богучанского водохранилища в период его заполнения // Труды Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, вып. 95(98), 2021. — С. 26–39.
18. Andrianova A.V., Shan'ko Y.V. Biotic indices and metrics of zoobenthos in the assessment of the ecological state of a large mixed-type river // Russian Journal of Ecology. 2022. Vol. 53, № 2. P. 128–135. <https://doi.org/10.1134/S1067413622020035>
19. Belyaeva P.G. Dynamics of Phytoperiphyton in the Basin of the Piedmont Sylva River, Perm Krai // Russian Journal of Ecology, 2010. — V. 41, № 1. — P. 95–98.
20. Mihalicz J.E. Seasonal effects of a hydropeaking dam on a downstream benthic macroinvertebrate community // River Res. Applic. 2019. V. 35. P. 714–724. <https://doi.org/10.1002/rra.3434>
21. Zhang H., Zhu Ch., Mo K., Chen Q., Tang L., Zhang J., Li T., Wang J. Dam cascade alters taxonomic composition of benthic macroinvertebrate community in upper Yangtze River // River Res. Applic. 2021. № 37. P. 1070–1079. <https://doi.org/10.1002/rra.3787>

© Андрианова Анна Владимировна (andrav@icm.krasn.ru); Спицына Татьяна Павловна (t-spitsina@mail.ru); Пономарёва Юлия Андреевна (ponomarevayulia@mail.ru); Ануфриева Татьяна Николаевна (li-777@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СТРУКТУРА ВОСТОЧНОАЗИАТСКОЙ ХОРОЛОГИЧЕСКОЙ ГРУППЫ ФЛОРЫ ЛЕСОСТЕПНЫХ ЭКОСИСТЕМ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

**Антипова Екатерина Михайловна**

Доктор биологических наук,  
Красноярский государственный педагогический  
университет им. В.П. Астафьева  
katusha05@bk.ru

## STRUCTURE OF THE EAST ASIAN CHOROLOGICAL GROUP OF FLORA OF FOREST-STEPPE ECOSYSTEMS OF CENTRAL SIBERIA

**E. Antipova**

*Summary.* The structure of geographical elements is one of the most important characteristics of flora. Based on the analysis of generic and specific areas, genetic groups are established and patterns of flora formation are clarified. The object of the study was the flora of vascular plants of the island forest–steppes of Central Siberia — Krasnoyarsk, Kansk and Achinsk (Krasnoyarsk Territory). The composition of the flora was revealed by the method of specific floras of A.I. Tolmachev. The purpose of the work is to study the geographical structure of the East Asian chorological group of forest–steppe flora with the characteristics of its constituent types of habitats. The allocation of types of habitats was carried out on the basis of the concept of phytochorions, on the principle of correspondence of the distribution of species to the natural (botanical-geographical) zoning of the Earth. The basis for determining the types of habitats was the global floristic zoning of A.L. Takhtajyan, for the Asian part of Russia — L.I. Malyshev et al., Russia and the flora of the Earth — R.V. Kamelin. As part of the East Asian chorological group of forest–steppes of Central Siberia, 2 geographical elements (90 species, 6.58 %) were identified, 12 types of habitats were identified, occupying the 5th place in the entire flora and 3 forest–steppes.

*Keywords:* chorological analysis; the concept of phytochorions; areal types; local floras; floristic zoning; Krasnoyarsk forest–steppe; Kansk forest–steppe; Achinsk forest–steppe; Siberia; geographical elements; Holarctic.

### Введение

Структура географических элементов является одной из важнейших характеристик флоры [1]. На основании анализа родовых и видовых ареалов устанавливаются генетические группы и выясняются закономерности формирования флор в изучаемом регионе, определяется степень самобытности и связи с флорами других территорий, генезис отдельных таксонов, в том числе диких сородичей культурных растений, синантропных видов, включающих сорные виды. История становления видов неразрывно связана с изучением их ареалов. Географический анализ является одним из методов решения вопроса о месте исследуемого региона в системе высших единиц ботанико-географического районирования. Для хорологического анализа необхо-

*Аннотация.* Структура географических элементов является одной из важнейших характеристик флоры. На основании анализа родовых и видовых ареалов устанавливаются генетические группы и выясняются закономерности формирования флор. Объектом исследования явилась флора сосудистых растений островных лесостепей Средней Сибири — Красноярской, Канской и Ачинской (Красноярский край). Состав флоры выявлялся методом конкретных флор А.И. Толмачева. Цель работы — изучение географической структуры восточноазиатской хорологической группы флоры лесостепей с характеристикой составляющих его типов ареалов. Выделение типов ареалов осуществлялось на основе концепции фитохорионов, на принципе соответствия распространения видов природному (ботанико-географическому) районированию Земли. Основой для определения типов ареалов явилось глобальное флористическое районирование А.Л. Тахтаджяна, для Азиатской части России — Л.И. Малышева и др., России и флоре Земли — Р.В. Камелина. В составе восточноазиатской хорологической группы лесостепей Средней Сибири выявлено 2 географических элемента (90 видов, 6,58 %), выделено 12 типов ареалов, занимающих 5 место во всей флоре и 3 лесостепях.

*Ключевые слова:* хорологический анализ; концепция фитохорионов; типы ареалов; локальные флоры; флористическое районирование; Красноярская лесостепь; Канская лесостепь; Ачинская лесостепь; Сибирь; географический элемент, Голарктика.

димо определение ареалов всех видов флоры среднесибирских северных лесостепей.

Выявление флористических границ лесостепей, находящихся на стыке лесов и степей, является проблематичным. Данный тип растительности очень пестр и разнообразен, обогащаясь внедряемыми географическими элементами, находящимися внутри лесостепей подходящие условия для своего существования. Классификационную схему географических элементов разрабатывают в зависимости от специфики объекта, географического положения флоры, анализа и целей исследования.

Впервые северные лесостепи были выделены на картах растительности России С.И. Коржинским [2], где им, а впоследствии и Г.И. Танфильевым [3], степи и лесостепи

Средней Сибири были отмечены территориально разобщенными на отдельные районы. Северные лесостепи Средней Сибири рассматривались, как зональное явление и были включены в отдельную ландшафтную зону [4, 5] с выделением Канского, Красноярского и Ачинского северных лесостепных районов. Между собою лесостепные острова разобщены Кемчугским плато на западе, отрогами Енисейского кряжа и Восточного Саяна на востоке, занимая полосу контакта равнинных и горных пространств. Наименьшие размеры имеет Ачинская лесостепь, наибольшие — Канская. Общая площадь островов лесостепей составляет 27,5 тыс. кв. км, непрерывная полоса вместе с окружающей их подтайгой — 54,5 тыс. кв. км.

По последнему флористическому районированию Сибири территория входит в Алтае-Енисейскую оро-гемибореальную провинцию [6] между 55°28'с.ш.–57°28'с. ш. и 89°–96°40'в. д. на стыке трех тектонических структур: Западно-Сибирской низменности, Алтае-Саянской горной страны и Среднесибирского плоскогорья [7].

Целью работы явилось обобщение материалов по структуре восточноазиатской группы географических элементов флоры северных лесостепей Средней Сибири, с характеристикой составляющих ее типов ареалов, выделенных на основе концепции фитохорионов.

#### Объекты и методы исследований

Основой для определения географической структуры флоры среднесибирских лесостепей явилась гербарная коллекция (KRAS), составленная по материалам многолетних экспедиционных исследований 26 локальных флор (ЛФ), заложенных равномерно на территории островных лесостепей Средней Сибири: по пять в Красноярской и Ачинской, 16 — в Канской. В результате обработки собранных материалов был составлен конспект флоры среднесибирских лесостепей.

Пробы флоры изучались согласно методу конкретных (элементарных) флор А.И. Толмачева [8], который предложил его для районов с низкой флористической изученностью. Данный метод более эффективен и экономичен в отличие от маршрутного способа исследования, обладает высокой степенью репрезентативности, а при условии высокой степени изученности флор и их приблизительного территориального равенства, обеспечивает принцип сопоставимости флор в сравнительном анализе [9]. В результате получены и обработаны сведения о 1566 видах сосудистых растений, относящихся к 519 родам и 112 семействам. Около 180 видов были исключены из анализа по разным причинам [10, 11].

Существуют разные подходы к выделению географических элементов: иерархический долготный под-

ход, предложенный А.В. Положий [12] и примененный многими авторами [13–16]; широтно-долготный подход, который базируется на выделении широтных и долготных групп видов и анализе их соотношения [17–20]; подход, базирующийся на концепции фитохорионов, т.е. на принципе соответствия распространения видов выделам ботанико-географического (флористического) районирования [21–26]. В данном случае важно, чтобы выделенные географические элементы флоры соответствовали региональным естественным флорам, или флорам фитохорионов.

Выделенные по первым двум подходам географические элементы являются координатными, третий же подход оперирует хориономическими географическими элементами [27].

Для классификации географических элементов лесостепей выбран подход, базирующийся на принципах концепции фитохорионов. Для составления системы геоэлементов исследуемой флоры были использованы флористические и геоботанические районирования различных территорий: земного шара А.Л. Тахтаджяна [28,29], Л.И. Малышева и др. по Сибирскому региону [6], Р.В. Камелина по России, Российскому Дальнему Востоку [30] и флоре Земли [31], Е.М. Лавренко [32] для определения веса видов в структуре сообществ различных фитохорий. После соотнесения общего географического распространения видов с выделами флористического районирования, были определены типы ареалов, соответствующие выделам ботанико-географического (флористического) районирования Земли.

Фрагмент системы фитохорионов Палеарктики, на базе которой непосредственно строится номенклатура географических элементов восточноазиатской группы флоры северных лесостепей Средней Сибири, представляется следующим образом [33].

#### Голарктическое царство

##### *Восточноазиатское (Катазийское) подцарство*

Сино-Японская область  
Охотско-Камчатская провинция  
Дауро-Маньчжурская провинция  
Амуру-Приморская провинция  
Японо-Корейская провинция  
Северокитайская провинция

При данном подходе полагается, что географический элемент составляют характерные представители флоры и растительности того фитохориона, на территории которого они находят оптимум жизненных условий и имеют основную часть своего ареала. Каждая из хорологических групп объединяет несколько геоэлементов. В свою очередь, каждый геоэлемент объединяет виды одного или нескольких типов ареалов. Геоэлемент мы

определяем, как совокупность видов, обладающих сходным общим распространением, тип ареала — как конфигурацию ареала данного геоэлемента. Согласно М.Г. Попову [34], названия географических элементов составлены из названий нескольких фитохорионов, которые они охватывают.

**Результаты исследований и их обсуждение**

После детального ознакомления с конфигурацией ареалов всех видов флоры было выявлено в составе восточноазиатской хорологической группы объединены виды 2 географических элементов — маньчжурского и сино-японского. Типы ареалов в их составе охватывают провинции Сино-Японской области Восточноазиатского (Катазийского) подцарства, объединяясь в 4 подгруппы.

В результате проделанной работы в составе маньчжурского географического элемента было выделено 8 типов ареалов по названиям провинций (таблица 1), определяющих их распространение с запада на восток или с востока на запад, включая все промежуточные между ними сибирские провинции [6, 30].

Таблица 1.

Географический спектр флоры среднесибирских лесостепей

Хорологическая группа, геоэлемент, тип ареала	Количество видов				
	Флора вся		С5	С6	С7
	абс	отн., %			
<b>5. Восточноазиатская группа</b>	90	6,58	77	64	38
5.1. Маньчжурский	33	2,41	31	27	18
Амуру-Приморская подгруппа	15	1,10	15	12	11
5.1.1. Сибирско-Амуру-Приморский	4	0,29	4	4	4
5.1.2. Западносибирско-Байкало-Амуру-Приморский	2	0,15	2	2	2
5.1.3. Алтаенейско-Восточносиб.-Амуру-Приморский	5	0,37	5	4	3
5.1.4. Алтаенейско-Байкало-Амуру-Приморский	4	0,29	4	2	2
Сибирско-Охотская подгруппа	9	0,66			
5.1.5. Сибирско-Охотско-Камчатский (субаркт)	9	0,66	7	7	5
Дауро-Маньчжурская подгруппа	9	0,66	9	8	2
5.1.6. Сибирско-Дауро-Маньчжурский	5	0,37	5	5	1
5.1.7. Алтаенейско-Восточносиб.-Дауро-Маньчжурский	1	0,07	1	—	—
5.1.8. Алтаенейско-Байкальско-Дауро-Маньчжурский	3	0,22	3	3	1
5.2. Сино-Японский	57	4,17	46	37	20

Хорологическая группа, геоэлемент, тип ареала	Количество видов				
	Флора вся		С5	С6	С7
	абс	отн., %			
5.4.1. Сибирско-Сино-Японский	14	1,02	11	13	7
5.4.2. Западносибирско-Байкальско-Сино-Японский	6	0,44	6	5	3
5.4.3. Алтаенейско-Восточносиб.-Сино-Японский	18	1,32	14	11	5
5.4.4. Алтаенейско-Байкальско-Сино-Японский	19	1,39	15	8	5

Сибирско-амуро-приморский (4 вида). Распространены в сибирских флористических провинциях, ограничены на востоке Сибирской северо-восточной оро-гипарктической провинцией [6], на юго-востоке — Амуру-Приморской провинцией [30]. Сибирско-Амуру-Приморскими являются *Potentilla tanacetifolia*, *Artemisia integrifolia*, *Androsace amurensis*.

Западносибирско-байкальско-амуро-приморский (2 вида). Распространены в гемибореальных провинциях Южной Сибири и Амуру-Приморской провинции Восточноазиатского подцарства (*Adenophora coronopifolia*, *Convolvulus chinensis*).

Алтаенейско-восточносибирско-амуро-приморский (5 видов). Ареал включает территории Среднесибирской и Восточносибирской подобластей, Амуру-Приморской провинции. Отнесены *Gagea pauciflora*, *Crataegus dahurica*, *Galatella dahurica*.

Алтаенейско-байкальско-амуро-приморский (4 вида). Распространены в Алтае-Енисейской и Байкальской гемибореальных провинциях Южной Сибири и Амуру-Приморской провинции. К алтаенейско-байкальско-амуро-приморским отнесены *Viola incisa*, *Linaria melampyroides*, *Adenophora tricuspidata*.

Сибирско-охотско-камчатский (9 видов). Распространены на территории сибирских флористических провинций (за исключением самых северных) и Охотско-Камчатской провинции Сино-Японской области [30]: *Salix abscondita*, *Populus suaveolens*, *Sorbaria sorbarifolia*, *Cortusa altaica*, *Woodsia acuminata*.

Сибирско-дауро-маньчжурский (5 видов). Ареал видов охватывает Маньчжурию и территории Западносибирской, Среднесибирской и Восточносибирской подобластей, иногда доходя до Северосибирской подобласти. Сюда отнесены *Potentilla flagellaris*, *Festuca sibirica*, *Delphinium grandiflorum*.

Алтаенейско-восточносибирско-дауро-маньчжурский (1 вид). Основной ареал ограничен Дауро-Мань-

чжурской провинцией и провинциями Среднесибирской и Восточносибирской подобластей. Отнесен только один вид *Polygonum rigidum*.

Алтаенисейско-байкальско-дауро-маньчжурский (3 вида). Ареалы видов охватывают Алтае-Енисейскую, Байкальскую гемибореальные провинции Сибири и Дауро-Маньчжурскую провинцию Восточноазиатского подцарства [30]. Отнесены *Cleistogenes kitagawae*, *Adenophora stenanthina*.

Сибирско-сино-японский (14 видов). Распространены не менее, чем в двух провинциях Восточноазиатского подцарства, лесной зоне Западной и Восточной Сибири, оро-гипарктических провинциях Северосибирской подобласти. Отнесены *Solidago dachurica*, *Hemerocallis minor*, *Astragalus propinguus*, *Carex lithophila*, *C. pseudocuraica*, *Ptarmica alpina*, *Lilium pensylvanicum*.

Западносибирско-байкальско-сино-японский (6 видов). Широко распространены на территории Южной Сибири (Западносибирской, Алтае-Енисейской и Байкальской гемибореальных провинций), в прилегающих районах Северной Монголии и провинциях Катайского подцарства (*Viola mirabilis*, *Leibnitzia anandria*, *Astragalus uliginosus*, *Carex rugulosa*).

Алтаенисейско-восточносибирско-сино-японский (18 видов). Ареалы этих видов подобны предыдущему геоэлементу, но заходят дальше на север в пределы Тунгусско-Ленской бореальной провинции Восточносибирской подобласти (*Lysimachia dachurica*, *Carex lanceolata*, *Leymus chinensis*, *Sparganium rothertii*, *Viola patrinii*, *V. dactyloides*).

Алтаенисейско-байкальско-сино-японский (19 видов). Основная часть ареалов этих видов охватывает Южную Сибирь в пределах Алтае-Енисейской и Байкальской оро-гемибореальных провинций и внутритропическую часть Восточной Азии в пределах Маньчжурской, Северокитайской, Японо-Корейской провинций [28]. Алтаенисейско-байкальско-сино-японскими являются *Artemisia argyi*, *Ceratophyllum oryctorum*, *Tulotia fuscescens*, *Lilium pumilum*, *Menispermum dahuricum*, *Epilobium fastigiato-ramosum*.

Немногочисленная группа восточноазиатских видов находится в среднесибирских лесостепях на западной и северо-западной границах (таблица 2)

### Выводы

Роль восточноазиатских видов незначительна, во флоре лесостепей они составляют около 7 % состава флоры, объединяясь в 12 типов ареалов и 2 геоэлемента. Особенно многочисленным среди них является си-

Таблица 2.

Западная и северо-западная границы ареалов восточноазиатских видов в лесостепях Средней Сибири

<i>Aconitum baicalense</i>	<i>Iris biglumis</i>
<i>Agrostis mongolica</i>	<i>Lilium pensylvanicum</i>
<i>Agropyron cristatum</i>	<i>L. pumilum</i>
<i>Adenophora tricuspidata</i>	<i>Linaria melampyroides</i>
* <i>Allium anisopodium</i>	<i>Lysimachia dahurica</i>
<i>A. senescens</i>	<i>Malus baccata</i>
<i>A. splendens</i>	* <i>Menispermum dahuricum</i>
<i>A. stellerianum</i>	<i>Phlojodicarpus sibiricus</i>
<i>Artemisia argyi</i>	<i>Polygonum borgoicum</i>
<i>A. umbrosa</i>	<i>Populus suaveolens</i>
<i>A. jacutica</i>	<i>Primula serrata</i>
<i>Astragalus versicolor</i>	<i>Puccinellia interior</i>
* <i>Athyrium monomachii</i>	<i>P. macranthera</i>
<i>Bromopsis karavajevii</i>	<i>Ptarmica alpina</i>
<i>Bromopsis sibirica</i>	<i>Salix abscondita</i>
* <i>Carex appendiculata</i>	* <i>S. rhamnifolia</i>
* <i>C. korshinskyi</i>	* <i>S. taraikensis</i>
<i>C. lanceolata</i>	<i>Serratula centauroides</i>
<i>C. sajanensis</i>	<i>Sium suave</i>
<i>C. pseudocuraica</i>	<i>Sparganium rothertii</i>
<i>C. vesicata</i>	<i>Stachys aspera</i>
<i>Corispermum crassifolium</i>	<i>Stellaria cherleriae</i>
<i>Crataegus dahurica</i>	* <i>Stipa baicalensis</i>
<i>Elymus transbaicalensis</i>	* <i>Thacla natans</i>
<i>Epilobium fastigiato-ramosum</i>	<i>Thalictrum baicalense</i>
<i>Erysimum flavum</i>	<i>Veratrum dahuricum</i>
* <i>Gagea pauciflora</i>	<i>Vicia baicalensis</i>
<i>Delphinium crassifolium</i>	<i>Viola dactyloides</i>
<i>Dendranthema mongolicum</i>	<i>V. gmeliniana</i>
<i>Fragaria orientalis</i>	<i>V. patrinii</i>
<i>Hypericum attenuatum</i>	

но-японский географический элемент (4,2 %), в котором преобладает неморальный комплекс, имеющий общее распространение с северо-восточной частью Китая, Корейским полуостровом и Японскими островами. Типы ареалов показывают доминирование восточносибирских видов — алтаенисейско-восточносибирско-сино-японских (1,3 %) и алтаенисейско-байкальско-сино-японских (1,4 %). Маньчжурский геоэлемент представлен в нашей флоре слабее (2,45 %), почти половину этой группы составляют виды, общие для Сибири и Амурско-Приморской провинции (1,1 %). Доли дауро-маньчжурских и сибирско-охотских подгрупп геоэлементов невелики и уравновешены (по 0,66 %). На Охотское побережье выходит небольшое число видов неморального комплекса, имеющие в нашей флоре единичные местонахождения: *Cortusa sibirica*, *Populus suaveolens*, *Sorbaria sorbifolia*, *Betula platyphylla*. Крупнейшим рубежом, ограничивающим распространение на восток горных и бореальных континентальных сибирских видов, служит хребет Джунгджур, являющийся географическим

и климатическим форпостом. Кроме того, влажное и туманное побережье Охотского моря не благоприятствует развитию сибирских видов растений, отличающихся высокой требовательностью к солнечной инсоляции и прогреву субстрата.

Необходимо отметить, что некоторые типы ареалов, входящие в сибирский географический элемент, на юге охватывают прилегающие территории Северной Монголии, которые не входят в районирование Л.И. Малышева и др. [6]. Это подразумевает расширение границ данного районирования в Южной Сибири с включением территории Северной Монголии.

Во всех 3 лесостепях, как и во всей флоре, географические элементы восточноазиатской группы занимают

5 место после бореальной, палеарктической, древнесредиземноморской и голарктической групп [35].

Красноярская лесостепь занимает срединное положение между Канской и Ачинской лесостепями и в ней преобладают больше долготные миграции, способствующие обогащению флоры южными среднесибирскими элементами, тогда как в Канской и Ачинской лесостепях преобладающими являются широтные миграции видов, что и отражается на составе ведущих типов ареалов. Третье место в Красноярской (22,1 %) и Канской (23,1 %) лесостепях занимают восточносибирские типы ареалов, тогда как в Ачинской — западносибирский (17,3 %), доказывая тем самым существование в Средней Сибири ботанико-географического рубежа между Западной и Восточной Палеарктикой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Толмачёв А.И. К методике сравнительно-флористических исследований. Понятие о флоре в сравнительной флористике // Журн. Русс. бот. общ-ва. 1931. Т. 16. № 1. С. 111–124.
2. Коржинский С.И. Растительность России (с картой) // Энциклопед. словарь Брокгауза и Ефрона. СПб, 1899. Т. 54. С. 42–54.
3. Танфильев Г.И. Схема ботанико-географических областей России // Главнейшие черты растительности России. СПб, 1902. С. 430–432.
4. Тугаринов А.Я. Географические ландшафты Приенисейского края (Издание Енисейского губернского земельного управления). Красноярск, 1925. 111 с.
5. Черепнин Л.М. Флора южной части Красноярского края. Красноярск: Изд-во КГПИ, 1957. Т. 1.
6. Малышев Л.И., Байков К.С., Доронькин В.М. Флористическое деление Азиатской России на основе количественных признаков // Krylovia. 2000. Т. 2. № 1. С. 3–16.
7. Антипова Е.М. Флора внутриконтинентальных лесостепей Средней Сибири. Красноярск, 2012 а. 662 с.
8. Толмачёв А.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. 214 с.
9. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 228 с.
10. Антипова Е.М. Методические вопросы выделения географических элементов флоры лесостепных экосистем Средней Сибири. Вестник КрасГАУ. 2012 б. Вып. 3. С. 78–84.
11. Антипова Е.М. Структура евросибирского геоэлемента бореальной группы северных лесостепей Средней Сибири // Самарский научный вестник. 2018. Т. 7, № 1 (22). С. 15–19.
12. Положий А.В. Флорогенетический анализ остролодочников Средней Сибири // Ученые записки Томского университета. Биология и почвоведение. 1965. Вып. 1. С. 18–25.
13. Малышев Л.И., Пешкова Г.А. Особенности и генезис флоры Сибири (Предбайкалье и Забайкалье). Новосибирск: Наука, 1984. 265 с.
14. Ревушкин А. С. Высокогорная флора Алтая. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1988. 320 с.
15. Эбель А.Л. Флора северо-западной части Алтае-Саянской провинции: состав, структура, происхождение, антропогенная трансформация: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.02.01. Томск, 2011. 39 с.
16. Степанов Н.В. Сосудистые растения Приенисейских Саян: флористический и биоресурсный анализ: автореф. дис. ... д-ра биологических наук/ Красноярск, 2014. 40 с.
17. Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята: Проблемы истории высокогорных ландшафтов Северо-Востока Сибири. Л.: Наука, 1968. 234 с.
18. Ребристая О. В. Флора востока Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1977. 334 с.
19. Шмидт В.М. Флора Архангельской области. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. 346 с.
20. Секретарева Н. А. Локальные флоры национального парка Берингия (Юго-Восток Чукотского Полуострова) // Ботанический журнал. 2018. Т. 103, № 1. С. 64–94.
21. Науменко Н.И. Флора южного Зауралья: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.05. СПб., 2003. 32 с.
22. Портениер Н.Н. Методические вопросы выделения географических элементов флоры Кавказа. // Бот. журн. 2000 а. Т. 85. № 6. С. 76–84.
23. Портениер Н.Н. Системы географических элементов флоры Кавказа // Бот. журн. 2000 б. Т. 85. № 9. С. 26–33.
24. Рябовол С.В., Антипова Е.М. Хорологическая структура флоры г. Красноярска // Вестник КрасГАУ (Красноярского государственного аграрного университета). 2008. № 2. С. 119–127.
25. Степанов Н. В. Сосудистые растения Приенисейских Саян. Красноярск: СФУ, 2016. 252 с.
26. Стрельникова Т.О. Анализ географической структуры флоры Башчелакского хребта // Ботанические исследования Сибири и Казахстана. Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2003. № 9. С. 51–57.
27. Юрцев Ю.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики. Пермь: Пермский гос. ун-т., 1991. 81 с.

28. Тахтаджян А.Л. Флористические области Земли. Л.: Наука, 1978. 247 с.
29. Takhtajan A. Flowering Plants. New York: Springer Science & Business Media, 2009. 871 p.
30. Камелин Р.В. Важнейшие особенности сосудистых растений и флористическое районирование России // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. Барнаул: Изд-во АзБука, 2002. С. 36–41.
31. Камелин Р.В. Флора земли: флористическое районирование суши / Р. В. Камелин. СПб.; Барнаул: ООО Пять плюс, 2017. 128 с.
32. Лавренко Е.М. О принципах ботанико-географического расчленения Палеарктики // Бот. журн. 1948. № 1.
33. Антипова Е.М. О методике выделения геоэлементов флоры лесостепей Средней Сибири // Ботаническое образование в России: прошлое, настоящее, будущее: материалы 1 Всероссийской научно-практической конференции (13-15 мая). Новосибирск, НГПУ, 2013. С. 5–7.
34. Попов М.Г. Ареалы растений в рамках природного районирования Земли // Осоки Сах. и Курил. о-вов. М.: Наука, 1970. С. 5–13.
35. Антипова Е.М. Растительность северных лесостепей Средней Сибири. Красноярск: КГПУ, 2016. 300 с.

---

© Антипова Екатерина Михайловна (katusha05@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ГРИБОВ РОДА *TRAMETES* QUEL В УСЛОВИЯХ АЗЕРБАЙДЖАНА

## SOME ASPECTS OF RESOURCE POTENTIAL OF FUNGI OF THE GENUS *TRAMETES* QUEL IN THE CONDITIONS OF AZERBAIJAN

**K. Bakhshaliyeva**  
**S. Mahmudova**  
**L. Bunyatova**  
**K. Isayeva**  
**A. Hasanova**

**Summary.** In the course of the studies, the ability of biomass formation in 27 strains of species of fungi of the genus *Trametes* Quel was assessed, which was found in the course of studies in 5 (*T.hirsute*, *T.ochracea*, *T.pubescens*, *T.suaveolens* and *T.versicolor*) species in Azerbaijan. It was shown that strains of fungi *T.versicolor* and *T.hirzuta* were identified as the most active in terms of both biomass formation in the vegetative phase and metabolite activity. This allows them to be used as food and feed.

**Keywords:** *Trametes* Quel, biomass, vegetative mycelium, culture liquid, biologically active substances.

**Бахшалиева Конуль Фаррух**

д.б.н., проф., заведующая лабораторией Институт Микробиологии Министерства Науки и Образования Азербайджанской Республики  
 konul.baxsh@mail.ru

**Махмудова Севиндж Ильгар**

преподаватель,  
 Гянджинский Государственный Университет  
 mahmudova\_sevinc@inbox.ru

**Буятова Лала Новруз**

и.о. доцент, к.б.н.,  
 Сумгаитский Государственный Университет  
 exampless@mail.ru

**Исаева Кямаля Кямаладдин**

и.о. доцент, к.б.н.,  
 Сумгаитский Государственный Университет  
 kamalaisayeva@gmail.com

**Гасанова Арзу Расул**

и.о. доцент, к.б.н.,  
 Сумгаитский Государственный Университет  
 arzu.h85@mail.ru

**Аннотация.** В ходе проведенных исследований дана оценка способности образования биомассы у 27 штаммов видов грибов рода *Trametes* Quel, которая в ходе исследований обнаружена 5 (*T.hirsute*, *T.ochracea*, *T.pubescens*, *T.suaveolens* и *T.versicolor*) видов в условиях Азербайджана. Показано что, штаммы грибов *T.versicolor* и *T.hirzuta* определены как наиболее активные как по образованию биомассы в вегетативной фазе, так и по активности метаболитов. Это позволяет использовать их в качестве продуктов питания и кормов.

**Ключевые слова:** *Trametes* Quel, биомасса, вегетативный мицелий, культуральная жидкость, биологически активные вещества.

Известно, что одним из приоритетных направлений развития микологии и биотехнологии является поиск продуцентов биологически активных веществ (БАВ) различного назначения среди мицелиальных грибов [13, 17, 20]. Многие БАВ отличаются не только фармакологической активностью, но также используются как в медицине, так и в ветеринарии, поскольку они менее токсичны и очень эффективны по сравнению с продуктами химического синтеза. Базидиальные грибы, особенно их ксилотрофные виды являются продуцентами различных БАВ: белков, липидов, полисахаридов, органических кислот, ферментов, витаминов и т. д. [8, 14, 16, 19] Следует отметить, что преимущества базидиомицетов заключаются в том, что препараты, полученные из их сырья, считаются экологически чистыми.

Рядом проведенных исследований было обнаружено, что продукты синтеза некоторых базидиальных грибов,

в том числе рода *Trametes* Quel, обладают антивирусной, антимикробной активностью, а также антимикробным действием против Enterobacteriaceae, вызывающих кишечные инфекции, что послужило основанием создания ряда препаратов [16]. Было также обнаружено, что они обладают антиатерогенным, антисклеротическим, антиревматическим свойствами, уменьшают содержание сахара в крови, артериальное давление, скорость кровотока в аорте [15, 18]. Кроме того, проведение исследований физиолого-биохимических свойств биомассы грибов рода *Trametes* Quel, подтвердило отсутствие токсического действия, относительно высокую способность к перевариванию, наличие бактерицидных свойств, выгодность использования их как продуцентов БАВ различного назначения (в качестве продуктов питания, кормов и в медицинских целях) [16]. Однако, все вышеперечисленные исследования могут считаться неисчерпывающими для полной оценки биоресурсного потенциала грибов рода

*Trametes* Quel. Принимая во внимание широкое распространение ксилотрофных базидиальных грибов, особенно видов грибов рода *Trametes* Quel, на территории Азербайджанской Республики [2, 12], обладающей богатой природой, и отсутствия связанных с ними всеобъемлющих исследований, не вызывает сомнений необходимости изучения в этом аспекте видов грибов *Trametes* Quel, широко распространенных на территории Азербайджанской Республики.

Учитывая все вышесказанное, целью представленной работы явилась оценка видового состава, закономерностей распространения и биоресурсного потенциала грибов *Trametes* Quel в условиях Азербайджана.

### Материалы и методы

Исследования проводились в лесах, расположенных на территории Большого и Малого Кавказа, Кура-Аразской равнины и Талышских горах Азербайджанской Республики. Отбор плодовых тел (ПТ) грибов рода *Trametes* Quel в указанных лесах проводилось методом маршрута [9]. Собранные образцы паспортизировались на месте и доставлялись в лабораторию. В лаборатории в первую очередь проводили идентификацию грибов и выделение их в чистую культуру.

Для выделения грибов из отобранных проб во всех случаях, а также для поддержания рабочих культур использовали сусло-агар (СА), агар Сабуро и др. Идентификация культур грибов, выделенных в чистую культуру [7, 10], проводили по определителю Бондарцевой [1], а при таксономической идентификации и наименовании грибов использовали данные официального сайта Международной Микологической Ассоциации (ММА).

Оценку способности роста грибов и накопления биомассы проводили в условиях глубинного культивирования (ГК), при которой использовали жидкую глюкозо-пептонную среду (ГПС), состав которой был следующим (г/л): глюкоза — 10; пептон — 3;  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 1,5;  $\text{NaCl}$  — 0,5;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  — 0,4;  $\text{FeSO}_4$  — в небольших количествах. Условия стерилизации — 0,5 атм, 0,5 часа. При культивировании в качестве посевного материала (инокулята) использовали 5-дневную биомассу того или иного гриба, выращенного на указанной питательной среде. Выделение и количественный анализ полисахаридных фракций (растворимых, нерастворимых, экзополисахаридов) из биомассы и культурального раствора проводили по известным методикам [3, 5–6]. В зависимости от цели исследования для определения количества белка в биомассе и КЖ использовали методы Лоури, Кельдаля и спектрофотометрические методы [11].

Токсичность биомассы оценивали по влиянию на жизнеспособность инфузорий, таких как *Tetrahymina*

*pyriformis* или *Paramecium caudatum*, которую проводили согласно методическому подходу, использованному в работе К.Ф. Бахшалиевой и др. [12].

Эксперименты, поставленные для получения количественных результатов, проводили не менее, чем в 4-х повторностях раз и полученные результаты подвергали статистической обработке [4].

### Полученные результаты и их обсуждение

В течение 2016–2022 гг. с выбранных для исследования участков было отобрано с вероятностью отношения к роду *Trametes* 257 плодовых тел, и после объединения отмеченных в полевых условиях признаков с лабораторными анализами установлено, что они включают следующие 9 видов:

1. *Antrodia heteromorpha* (Fr.) Donk, Persoonia 4 (3): 339 (1966) [MB#326336](=*T.heteromorpha*(Fr.) Lloyd)
2. *Antrodiella serpula* (P. Karst.) Spirin & Niemelä, Mycotaxon 96: 231 (2006) [MB#500771] (*Trametes hoehnelii* (Bres.) Pilát)
3. *Trametopsis cervina* (Schwein.) Tomsovský, Czech Mycology 60 (1): 8 (2008) [MB#511830]
4. *Trametes hirsuta* (Wulfen) Lloyd, Mycological Writings 7 (Letter 73): 1319 (1924) [MB#531523]
5. *Trametes ochracea* (Pers.) Gilb. & Ryvarden, North American Polypores 2: 752 (1987) [MB#132931]
6. *Trametes pubescens* (Schumach.) Pilát, Atlas Champ. Eur., Polypor., B: 268 (1939) [MB#275567]
7. *Trametes suaveolens* (L.) Fr., Epicrisis Systematis Mycologici: 491 (1838) [MB#203430]
8. *Corioloopsis trogii* (Berk.) Domanski, Mala flora grzybów. Tom I: Basidiomycetes (Podstawczaki), Aphyllophorales (Bezblaszkowe). Bondarzewiaceae, Fistulinaceae, Ganodermataceae, Polyporaceae 1: 230 (1974) [MB#311828] (*T. trogii* Berk)
9. *Trametes versicolor* (L.) Lloyd, Mycol. Writ. 6 (65): 1045 (1920) [MB#281625]

Следует отметить, что распространение 10 видов, принадлежащих к роду *Trametes*, в Азербайджане было определено в других исследованиях [2, 12], но гриб *T. zonata* в ходе наших исследований не был обнаружен и было выявлено, что 4 вида принадлежат к другому роду. Другими словами, в Азербайджане распространены 5 видов грибов (*T.hirsute*, *T.ochracea*, *T.pubescens*, *T.suaveolens* и *T.versicolor*), принадлежащих к роду *Trametes*. В дальнейшем ходе исследований было признано целесообразным продолжить их с образцами этих 5 видов, некоторые сведения о них указаны в таблице 1. Как видно, отмеченные виды грибов отличаются друг от друга только количеством выделенных штаммов и эко-трофическим связям, тогда как по другим показателям они сходны.

Таблица 1.

Общая характеристика зарегистрированных видов грибов рода *Trametes*

№	Название вида	Число выделенных штаммов	Эколого-трофические связи	Тип гнили	Гифальная система
1	<i>T.hirsuta</i>	7	политроф	белая	тримитик
2	<i>T.ochraceus</i>	3	сапротроф	белая	тримитик
3	<i>T.pubescens</i>	6	политроф	белая	тримитик
4	<i>T.suaveolens</i>	3	политроф	белая	тримитик
5	<i>T.versicolor</i>	8	сапротроф	белая	тримитик
Всего		27	P/S=3/2	белая	5

Следует отметить, что в цикле развития базидиальных грибов различают три этапа: образование монокариона, дикариона и плодового тела. Каждый из этих этапов продолжается в течение определенного периода времени, а этап формирования ПТ протекает только в течение определенного периода времени. Другие стадии, а точнее фаза вегетативного мицелия (ВМ) не имеет срока и в любой момент, в любом количестве может быть получена биомасса ВМ. В настоящее время для получения того или иного БАВ базидиальных грибов используются все 3 фазы. Единственной причиной этого является то, что БАВ образуются на всех трех стадиях.

Так, был разработан метод, обеспечивающий процесс образования ПТ у некоторых грибов в искусственных условиях, хотя для многих грибов, в том числе для видов рода *Trametes*, такой подход пока не найден. Поэтому у этих грибов используются ПТ, образующиеся исключительно в естественной среде, которые, несмотря на свои большие запасы, ограничены в количестве и не могут быть получены в любое время. Чего нельзя сказать о ВМ, так как его можно получить в любое время года и в любом количестве. По этой причине для оценки грибов этого рода как биоресурса использовался только ВМ. Полученные на этом этапе основные результаты представлены ниже. В первую очередь проводилась оценка способности производить биомассу в жидкой питательной среде у выделенных в чистую культуру штаммов. Полученные результаты показывают, что используемые штаммы отличаются по количеству образуемой биомассы (табл. 2), а штаммы *T.hirsuta* и *T.versicolor* определены как виды, способные образовывать сравнительно большое количество биомассы.

Полученные для этих штаммов максимальные показатели способности образования биомассы не уступают таковым у используемых или считающихся перспективными для использования штаммов и с уверенностью можно отметить, что они согласно данным показателям могут занять место среди перспективных в отно-

шении способности образования биомассы штаммов, что послужило основой выбора в заключении данного этапа как активных продуцентов штаммов *T.hirsuta* SM-07 (выход биомассы — 9,0 г/л) и *T.versicolor* HA-21 (9,6 г/л).

Таблица 2.

Оценка количественных показателей биомассы, образуемой штаммами грибов рода *Trametes*

N	Виды (число штаммов)	Выход биомассы (5 суток, г/л)
1	<i>T.hirsuta</i> (7)	5,5–9,0
2	<i>T.ochraceus</i> (3)	2,3–4,9
3	<i>T.pubescens</i> (6)	3,8–5,0
4	<i>T.suaveolens</i> (3)	2,9–5,1
5	<i>T.versicolor</i> (8)	5,9–9,6

Были проведены исследования по оптимизации питательной среды, используемой в качестве первичной среды для выбранных штаммов, уточнены источники углерода и азота среды, исходная кислотность, температура культивации, способ подготовки и сроки посева материала. Из проведенных в связи с этим исследований видно, что в результате оптимизации среды выход биомассы увеличивается у обоих штаммов, а ее количественный показатель составляет 9,9 г/л у *T.hirsuta* SM-07 и 11,0 г/л. л. у *T.versicolor* HA-21.

Полученная после культивирования в оптимальных условиях биомасса грибов, отделялась от культуральной жидкости и оценивался её биохимический состав. Результаты исследований показали, что как КЖ, так и ВМ отличаются по количеству составляющих элементов, так в КЖ преобладают экзополисахариды (т.е. легкогидролизуемые полисахариды), а в ВМ доминируют нерастворимые фракции полисахаридов (табл. 3). Интересно, что способность усвоения метаболитов, выделенных в культуральную жидкость, почти в два раза выше, чем мицелия. Это связано с тем, что большинство метаболитов КЖ являются водорастворимыми и легкими. В целом следует отметить, что выбранные как активные продуценты, эти два штамма по количественным показателям компонентов ВМ и КЖ, также привлекают особое внимание наряду со штаммами, считающимися перспективными в качестве кормов, продуктов питания и в медицинских целях. Поэтому как заключение исследований было целесообразным определить в каких целях выгодно использовать биомассу штаммов *T.hirsuta* SM-07 и *T.versicolor* HA-21, отобранных в качестве активных продуцентов. Рядом исследований, а также нашими исследованиями, определена целесообразность использования биомассы грибов рода *Trametes* в пищевых или кормовых целях, ввиду её сравнительно слабой антимикробной активности. Первым необходимым вопросом является определение токсичности биомассы и КЖ. Как правило, для этого используют беспозвоночных,

таких как *Tetrahymena pyriformis*, *Paramecium caudatum*, поэтому мы также использовали их для определения токсичности ВМ и КЖ. С этой целью использовались концентрации, полученной КЖ, и раствор водной и спиртовой экстракции ВМ. Полученные результаты показали, что ни одна из концентраций используемых материалов не обладает какой-либо токсичностью. Результаты, полученные на *Tetrahymena pyriformis*, показали, что экстракт ВМ обоих грибных штаммов не оказывает токсического воздействия на рост инфузорий и даже вызывает увеличение их количества по сравнению с водой и спиртом (табл. 4). Это также позволяет судить о наличии биологической активности экстракта, влияющего на жизнеспособность инфузорий.

Таблица 3.

Биохимический состав биомассы отобранных в качестве активных продуцентов штаммов

Компонентный состав	Количественные показатели (%)			
	<i>T. hirsuta</i> SM-07		<i>T. versicolor</i> HA-21	
	ВМ	КЖ	ВМ	КЖ
Белки	17,4	3,3	16,9	3,5
Трудногидролизуемые полисахариды	42,1	0	43,4	0
Легкогидролизуемые полисахариды	14,5	2,7	15,3	2,5
Глюканы, в том числе	40,8	1,7	41,6	2,0
α-глюканы	10,6	0,8	12,4	0,9
β-глюканы	30,2	0,9	29,2	1,1
Степень усвоения (по песину)	42,4	84,6	43,5	86,4

Таблица 4.

Влияние на жизнеспособность инфузорий биомассы грибов рода *Trametes*

Штаммы грибов	Начальное число клеток инфузорий, ед.	Число клеток инфузорий через 24 часа, ед.	Эффект прироста, кратность
Биомасса экстрагируемая водой			
<i>T. hirsuta</i> SM-07	154	298	1,94
<i>T. versicolor</i> HA-21	150	300	2,00
экстрагируемая 1%-м спиртом			
<i>T. hirsuta</i> SM-07	142	230	1,62
<i>T. versicolor</i> HA-21	147	229	1,56
экстрагируемая 3%-м спиртом			
<i>T. hirsuta</i> SM-07	151	230	1,52
<i>T. versicolor</i> HA-21	156	229	1,47

Как дополнение к вышесказанному, можно сделать вывод, что биомасса грибов рода *Trametes*, богатая биологически активными метаболитами, характеризуется показателями, пригодными в использовании как в качестве питания, так и для кормов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Бондарцева, М.А. Определитель грибов России. Порядок афиллофоровые. СПб.: Наука, 1998, вып. 2, 391 с.
- Бунятова, Л.Н., Гасанова, В.Я. и др. Ксилотрофная микробиота лесных экосистем Азербайджана. // Вестник МГОУ, серия «Естественные науки», 2015, № 3, с. 24–29.
- Захарова, И.Л., Косенко, Л.В. Методы изучения микробных полисахаридов. Киев: Наукова думка, 1982, 189 с.
- Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006, 816 с.
- Ковалева, Г.К. Биологические особенности и биохимический состав ксилотрофных базидиомицетов *Fomitopsis officinalis* (Vill.: Fr.) Bond. et Sing., *Ganoderma applanatum* (Pers.) Pat., *Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilat. Автореф. дис. ... канд. биол. Наук. — М., 2009, 21 с.
- Методы исследования углеводов / под ред. А.Я. Хорлина — М.: Мир, 1975, 135 с.
- Методы экспериментальной микологии / Под ред. Билай В.И. Киев: Наукова думка, 1982, 500 с.
- Мурадов, П.З., Гахраманова, Ф.Х., Гасанова, В.Я. и др. Базидиальные грибы как продуценты веществ обладающие фармакологическими и радиопротекторными свойствами. // Успехи медицинской микологии, 2014, т.12, с. 326–328.
- Мухин, В.А. Полевой определитель трутовых грибов. Екатеринбург, 1997, 104 с.
- Нетрусов, А.И., Егорова, М.А., Захарчук, Л.М. и др. Практикум по микробиологии. — М.: Издательский центр «Академия», 2005, 608 с.
- Практикум по биохимии (Под ред. Н.П. Мешковой и С.Е. Северина.). М: МГУ, 1979, 430 с.
- Bakhshaliyeva, K., Namazov, N., Hasanova A., et al. Assessment of the prospects of studying and using mushrooms of Azerbaijan as effective producers of biologically active substances//Periódico Tchê Química (Brazilia), 2020, vol.17, № 34, p.403-411.
- Bills, G.F., Gloer, J.B. Biologically active secondary metabolites from the fungi. Microbiol. Spectr. 2016;4:4–6.
- Conrado, R., Gomes, T.C., Roque, G.S.C., De Souza, A.O. Overview of Bioactive Fungal Secondary Metabolites: Cytotoxic and Antimicrobial Compounds //Antibiotics, 2022; 11(11):1604.
- Esheli, M., Thissera, B., El-Seedi, H.R., Rateb, M.E. Fungal Metabolites in Human Health and Diseases—An Overview.// Encyclopedia, 2022, 2, 1590–1601.
- Frljak, J., Mulabecirović, A., Isaković, S. et al. Biological Active Components of Selected Medical Fungi.// Open Journal of Preventive Medicine, 2021, 11, 9–22.
- Keller, N.P. Fungal secondary metabolism: Regulation, function and drug discovery.//Nat. Rev. Microbiol., 2019, 17, p.167–180.

18. Macheleidt, J., Mattern D.J., Fischer J. et al. Regulation and role of fungal secondary metabolites.// Annu. Rev. Genet., 2016. v.50, p. 371–392.
19. Mykchaylova, O., Poyedinok, N. Antimicrobial Activity of Fomitopsis Officinalis (Vill.) Bondartsev & Singer in Pure Culture// Innov Biosyst Bioeng [Internet], 2021, v.5(4). P. 220–227.
20. Sanchez, S., Demain A.L. Bioactive Products from Fungi.// Food Bioactives., 2017, v.11, p. 59–87.

---

© Бахшалиева Конуль Фаррух (konul.baxsh@mail.ru); Махмудова Севиндж Ильгар (mahmudova\_sevinc@inbox.ru);  
Бунятова Лала Новруз (exampless@mail.ru); Исаева Кямаля Кямаладдин (kamalaisayeva@gmail.com); Гасанова Арзу Расул (arzu.h85@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СРАВНЕНИЕ И ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН ЗАРАЖЁННОСТИ ОПИСТОРХОЗОМ, АСКАРИДОЗОМ И ЭНТЕРОБИОЗОМ НАСЕЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

## COMPARISON AND IDENTIFICATION OF POSSIBLE CAUSES OF OPISTHORCHIASIS, ASCARIASIS AND ENTEROBIASIS INFESTATION IN DIFFERENT REGION POPULATIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION

**V. Maslova**  
**S. Germanova**  
**V. Byakhova**  
**N. Sambros**  
**A. Zinchenko**

*Summary.* This article reports on the statistics of opisthorchiasis, ascariasis and enterobiasis incidence among the population of the Russian Federation from 2013 to 2021. The analysis and comparison of statistics of regions with the lowest and the highest incidence were carried out. Possible reasons for the spread of these diseases in the regions of the Russian Federation were outlined. The sudden change in the dynamics of morbidity from 2020 onwards and the occurrence causes were also considered.

*Keywords:* invasive diseases, ascariasis, opisthorchiasis, enterobiasis, causes of disease, prevention.

**Маслова Вероника Анатольевна**

Российский университет дружбы народов  
 имени Патриса Лумумбы  
 1032216064@pfur.ru

**Германова Светлана Евгеньевна**

старший преподаватель, Российский университет  
 дружбы народов имени Патриса Лумумбы  
 germanova-se@rudn.ru

**Бяхова Варвара Михайловна**

Кандидат ветеринарных наук, доцент, Российский  
 университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы  
 byakhova-vm@rudn.ru

**Самброс Наталия Борисовна**

старший преподаватель, Российский университет  
 дружбы народов имени Патриса Лумумбы  
 sambros-nb@rudn.ru

**Зинченко Александра Валерьевна**

Ассистент, Российский университет дружбы народов  
 имени Патриса Лумумбы  
 zinchenko-av@rudn.ru

*Аннотация.* В данной статье рассмотрена статистика заболеваемости описторхозом, аскаридозом и энтеробиозом населения Российской Федерации с 2013 по 2021 годы. Проведён анализ и сравнение данной статистики по разным регионам: регионам с наименьшей и наибольшей заболеваемостью. Были обозначены возможные причины распространения приведённых заболеваний по территории регионов Российской Федерации. Также было рассмотрено резкое изменение динамики роста заболеваемости начиная с 2020-го года и причины, по которым это могло произойти.

*Ключевые слова:* инвазионные заболевания, аскаридоз, описторхоз, энтеробиоз, причины заболеваний, профилактика.

**И**нвазионные заболевания являются довольно опасными для здоровья человека. Паразиты, проникая и размножаясь в организме человека, способны вызвать множество различных нарушений: от расстройства и нарушения работы желудочно-кишечного тракта, до поражений головного мозга и гибели человека. На территории Российской Федерации распространены около восемнадцати паразитарных заболеваний. Особое значение имеют такие инвазии, как описторхоз, аскаридоз и энтеробиоз, так как за последние три года в среднем описторхозом ежегодно заражались около 12 тыс., аскаридозом — около 11 тыс., а энтеробиозом — около 150 тыс. человек.

Описторхоз — инвазионное заболевание, вызываемое двумя видами гельминтов из класса Trematoda:

*Opisthorchis Felineus* (кошачья двуустка) и *Opisthorchis Viverrini* (белочья двуустка). У человека данные виды паразитов локализуются в желчном пузыре, печени и поджелудочной железе. В своём цикле паразиты имеют следующих промежуточных хозяев: моллюск бритуния (*Bithynia leachi*) и пресноводные рыбы семейства карповых (*Cyprinidae*). Человек заражается при поедании сырой или некачественно обработанной рыбы. В организме человека гельминт развивается в течение 3–4 недель. [3]

Наибольшее распространение данная инвазия получила в Ханты-Мансийском автономном округе (Уральский Федеральный округ), а также в Новосибирской области (Сибирский Федеральный округ). [Таблица 1] [1]

Таблица 1.

Статистика заболеваемости населения описторхозом

	Общая заболеваемость по Российской Федерации	Ханты-Мансийский автономный округ	Новосибирская область
2013	28874	9294	3279
2015	22139	6024	3930
2017	18755	4309	3118
2019	19597	4194	2941
2021	8908	1510	1480

В остальных регионах Сибирского и Уральского Федеральных округов также отмечается довольно высокая заболеваемость в то время, как в Северо-западном (кроме Республики Карелия), Центральном, Северо-Кавказском и дальневосточном Федеральных округах наблюдаются лишь единичные случаи заболеваемости.

Рассмотрим несколько возможных причин широкой распространённости описторхоза в Уральском и Сибирском Федеральных округах. Одной из возможных причин высокой заболеваемости именно в этих регионах является факт присутствия всех звеньев цепи развития *Opisthorchis Felineus* и *Opisthorchis Viverrini* в то время, как в остальных регионах отсутствует по меньшей мере один промежуточный хозяин. Рассмотрим эту причину подробнее.

Из семейства карповых источником заражения описторхоза для человека являются: красноперка, линь, жерех, лещ, язь, елец, сопа, плотва, чехонь, густера. Язь распространён практически на всей территории Российской Федерации, в особенности в реках Волжского бассейна, а также по всему Уралу и Западной Сибири. Остальные виды рыб — промежуточных хозяев также, в большинстве своём, распространены по всей территории Российской Федерации. *Bithynia leachi* — моллюск, являющийся промежуточным хозяином описторха, также распространён по всей территории Российской Федерации. Можно сделать вывод, что данная причина не актуальна практически для всех регионов России, кроме горных (например, для Северо-Кавказского Федерального округа), так как вышеперечисленные виды рыб не водятся в холодных водах горных рек. [7; 8]

Второй возможной причиной является широкое распространение рыбного промысла в данных регионах, но, так как большая часть рыбного промысла Российской Федерации принадлежит Дальневосточному Федеральному округу, а значит, вылавливается в основном морская рыба, не являющаяся переносчиком описторхоза. Кроме того, на всех рыбных промыслах должна проводиться ветеринарно-санитарная экспертиза выловленной рыбы, что сильно снижает возможность заражения, при условии её качественного проведения.

При взгляде на карту Российской Федерации можно увидеть, что на территории всех регионов с высокой заболеваемостью описторхозом протекает река Обь. И действительно, именно этот факт и является ключевым в распространённости описторхоза в данных Федеральных округах. Обь является самым крупным очагом данной инвазии (заражённой является около 93 % рыб семейства карповых). [6]

Ежегодно тысячи рыбаков приезжают на Обь для ловли рыбы. Далеко не все из них осведомлены о высокой заражённости рыбы, обитающей в данной реке. Кроме того, непрофессиональные рыбаки довольно редко сдают свой улов на ветеринарно-санитарную экспертизу, в результате чего возрастает риск заражения гельминтозом. При условии плохого приготовления или отсутствия обеззараживания (например, заморозкой), Кошачья двуустка попадает в организм промежуточного хозяина.

Многие хозяйки при приготовлении рыбы могут давать её части своим домашним животным, в частности кошкам, также являющимся основными хозяевами *Opisthorchis Felineus*. Таким образом, при условии свободного выгула животных, происходит следующее: яйца гельминта выделяются в окружающую среду с фекалиями, заглатываются моллюском битунией и цикл начинается сначала.

Также причиной распространения инвазии может быть халатное отношение людей к личной гигиене, а также проблемы малой обеспеченности деревень канализационными системами и системами очистки сточных вод, из-за чего паразиты могут попасть в реки с калом человека. По статистике (данные за 2017 год) доля площади жилищного фонда, обеспеченного всеми видами благоустройства (в том числе и канализационными системами) в сельских населённых пунктах Ханты-Мансийского автономного округа составила 49,9 %; Новосибирской области — 8,1 %. В целом по Уральскому Федеральному округу обеспечение составило на 2017 год 23 %; по Сибирскому Федеральному округу — 13 %. [2]

Можно сделать вывод, что основными причинами высокой заболеваемости описторхозом Уральского и Сибирского Федеральных округов является высокое число инвазированной рыбы в бассейне реки Обь, а также низкая осведомлённость населения об опасности и мерах профилактики описторхоза и малая обеспеченность деревень канализационными и очистными системами.

Как видно из таблицы 1, заболеваемость по всем приведённым регионам и по России в целом довольно резко снизилась в 2021 году. Скорее всего, снижение заболеваемости связано с увеличением осведомлённости населения о болезнях и о мерах их профилактики. Не стоит

привязывать спад заболеваемости к коронавирусным ограничениям, так как статистика по 2021-му году лучше, чем по 2020-му. [1]

Также довольно распространённым заболеванием на территории Российской Федерации является аскаридоз. Аскаридоз — инвазионное заболевание, вызываемое паразитом из класса Nematoda *Ascaris lumbricoides*. В организме человека в основном локализуется в тонком отделе кишечника, но при высокой интенсивности инвазии может поражать и другие органы (печень, лёгкие и др.). [4]

Человеческая аскарида является геогельминтом. Она не имеет промежуточных хозяев и паразитирует только у человека. Яйца с калом выделяются в почву, где через 15–17 дней при благоприятных условиях формируются личинки и яйцо становится инвазионным. Человек заражается алиментарным путём через грязные руки, воду, фрукты и овощи. Механическим переносчиком яиц гельминта являются мухи.

В данном случае статистика заболеваемости по Российской Федерации несколько печальней. В большинстве своём заболевание примерно равномерно распространено по субъектам федерации. Ниже приведена статистика по наибольшему и наименьшему числу выявленных случаев заболеваний аскаридозом на территории Российской Федерации с 2013 по 2021 годы. [Таблица 2] [1]

Таблица 2.

Количество подтверждённых случаев заболевания аскаридозом человека

	Общая заболеваемость по Российской Федерации	Республика Дагестан	Чукотский автономный округ	Кабардино-Балкарская Республика
2013	31288	3811	4	5
2015	24115	2909	3	3
2017	19510	2672	4	2
2019	16981	2078	3	1
2021	8783	973	1	0

Как уже упоминалось, аскаридоз практически равномерно распространён на всей территории России, поэтому, в данном случае, будет интересно не только выяснить причины такого сильного распространения инвазии в Республике Дагестан, но и практически её отсутствия в Чукотском Автономном округе и Республике Кабардино-Балкария.

Для начала, как причину распространения инвазии, рассмотрим перенос яиц гельминтов мухами. В Чукотском автономном округе число насекомых (из-за климата) значительно ниже, чем на Кавказе. Поэтому данная

причина малого количества инвазии подходит для Чукотки (как и для других северных регионов, где заболеваемость аскаридозом также довольно низкая). Но в таком случае возникает вопрос: почему в Кабардино-Балкарской республике при таких условиях распространение инвазии настолько ниже, чем в Дагестане? [9]

Второй причиной распространения можно назвать благоприятные условия внешней среды. Хотя аскариды и устойчивы к условиям внешней среды, развиваться в неблагоприятных условиях личинки не способны. И опять же по данному пункту подходит Чукотский автономный округ с его суровым климатом. Также, это может объяснить малое число заражений в других северных регионах Российской Федерации. Но Дагестан и Кабардино-Балкария имеют практически одинаковые климатические условия, поэтому к данным регионам вышеприведённая причина вновь не подходит.

Еще одной причиной широкого распространения инвазии может являться пренебрежительное отношение к личной гигиене, а также малая обеспеченность регионов канализационными системами. Вновь обратимся к статистике. Доля площади жилищного фонда, обеспеченного всеми видами благоустройства, в общей площади жилищного фонда субъекта Российской Федерации (в том числе и канализации) в Республике Дагестан составляет 8,2 % в сельских населённых пунктах, при этом в Кабардино-Балкарской Республике — 69,9 % Это не только в восемь раз выше, чем в Дагестане, но и более чем в два раза выше среднероссийского показателя. Показатель республики Дагестан в четыре раза ниже среднего показателя по Российской Федерации. Скорее всего именно низкая обеспеченность сельских районов Дагестана канализационными системами и является главной причиной столь высокого распространения аскаридоза по региону. Данный показатель по Чукотскому автономному округу составляет 39,6 %. Это не так много, в сравнении с Кабардино-Балкарией, но при этом, в отличие от регионов Кавказа, Чукотка имеет куда менее благоприятные условия для развития геогельминта. [2]

Можно сделать вывод, что малое обеспечение сельских регионов канализационными системами в совокупности с благоприятными климатическими условиями и довольно большим количеством насекомых является основной причиной столь широкого распространения инвазии по Республике Дагестан. Это косвенно подтверждается практически полным отсутствием выявленных случаев аскаридоза в Кабардино-Балкарской Республике, где при равных климатических условиях уровень обеспечения сельской местности канализационными системами гораздо выше. Чукотский же автономный округ, как и некоторые другие северные регионы, несмотря на не столь большое обеспечение канализационными системами, всё равно имеют довольно низкую

заболеваемость из-за природно-климатических условий данных регионов.

Как видно из таблицы 2, заболеваемость аскаридозом на протяжении последних девяти лет имеет тенденцию на спад. Но особенно сильный спад произошёл после 2020-го года. Как и в случае с описторхозом, это может быть связано с ростом осведомлённости населения о мерах профилактики болезней, а также более внимательным отношением людей к личной гигиене. Поскольку аскаридоз имеет алиментарный путь заражения, регулярное мытьё рук является действенным способом его профилактики. [1]

Ещё одним распространённым заболеванием в Российской Федерации является энтеробиоз. Энтеробиоз — инвазионное заболевание, вызываемое паразитом класса Nematoda — *Enterobius vermicularis* (острицей кишечной). Острицы паразитируют только в организме человека. Они не имеют промежуточных хозяев, а также для развития им не нужно попадать в почву. Острицы паразитируют в нижних отделах тонкого кишечника. Оплодотворённые особи ночью выходят из анального отверстия и откладывают яйца в параанальные складки, где поддерживаются оптимальные условия для их развития. Яйца становятся инвазионными через несколько часов. Человек заражается алиментарным путём через руки или загрязнённые предметы (например, игрушки). [4]

В Российской Федерации энтеробиоз — очень распространённое заболевание. Большинство заражений приходится на регионы с высокой численностью населения, но, в основном, заражения довольно равномерно распределяются по территории страны (за исключением некоторых небольших регионов). Ниже приведена статистика по заболеваемости энтеробиозом за последние девять лет в наиболее и наименее заражённых регионах России. [Таблица 3] [1]

Таблица 3.

Количество подтверждённых случаев заболевания энтеробиозом

	Общая заболеваемость по Российской Федерации	г. Москва	Республика Татарстан	Пермский край	Ненецкий автономный округ	Республика Ингушетия
2013	215071	8599	7244	9007	139	168
2015	221793	4004	8954	9502	265	187
2017	221793	4509	10406	9153	275	172
2019	213789	6216	9108	8721	281	169
2021	138691	6387	6653	6127	166	194

В данном случае довольно сложно определить точную причину подобного распределения числа зара-

жений населения энтеробиозом, ведь данный паразит не нуждается в каких-либо особых условиях для развития, в отличие от аскарид и описторхов. Острицам не нужны ни промежуточные хозяева, ни обязательное попадание яиц в землю. Заражение и перезаражение может происходить в пределах одной квартиры, что и затрудняет точное выявление причин.

Первой возможной причиной могла бы быть зависимость высокой заболеваемости от плотности населения. Но данное предположение работает только для объяснения низкой заболеваемости людей в Ненецком автономном округе и других северных регионах Российской Федерации. Объяснить низкую заболеваемость людей в Республике Ингушетия с помощью данного предположения не получается, так как этот регион занимает одну из лидирующих позиций в статистике по плотности населения России. При этом Пермский край с довольно высокой статистикой заражения энтеробиозом находится лишь в середине списка плотности населения, гораздо ниже многих менее заражённых регионов. [5]

Второй возможной причиной может являться сама численность населения данных регионов, так как чем больше людей, тем больше из них могут потенциально заразиться. И по данному параметру уже подходят все представленные в таблице регионы. Лидирующее место по численности населения занимает Москва, Республика Татарстан занимает седьмое место, а Пермский край — семнадцатое. Во всех приведённых регионах наблюдается высокая степень заражения населения энтеробиозом. При этом Республика Ингушетия занимает 74-е место, а Ненецкий автономный округ — находится в конце списка (85-е место) численности населения. [5]

Также, причиной может являться пренебрежительное отношение людей к личной гигиене; нерегулярное проведение генеральной уборки дома; редкая стирка одежды, игрушек; отсутствие желания или возможности сдавать предметы мягкой мебели для химической очистки (в химчистку).

Можно сделать вывод, что в данном случае количество заболеваний напрямую связано с численностью населения в отдельных регионах. Также, не стоит исключать пренебрежение людей личной гигиеной, что является важным фактором распространения инвазии.

Как и в случае с описторхозом и аскаридозом, заболеваемость энтеробиозом довольно резко уменьшилась с 2020-го года. Как и в предыдущих случаях, это связано с увеличением внимания людей к личной гигиене, в частности — увеличение числа мытья рук, что является одним из главных методов профилактики многих инвазионных заболеваний, в том числе и энтеробиоза. [1]

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что, в основном, в последние три года заболеваемость людей паразитарными болезнями имеет тенденцию на спад, в основном благодаря улучшению осведомлённости людей о мерах профилактики заболеваний и важности личной гигиены после начала пандемии COVID-19. Общая инвазионная заболеваемость ниже в северных и малонаселённых регионах Российской Федерации и выше

в регионах с высокой численностью населения. Кроме того, на заболеваемость инвазиями влияет обеспеченность региона, в особенности его сельских районов, канализационными системами. В случае с описторхозом основная причина заключается в том, что по территории всех регионов Российской Федерации с высокой заболеваемостью протекает река Обь, являющаяся самым крупным природным очагом описторхоза в мире.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Число зарегистрированных случаев паразитарных заболеваний [Электронный ресурс]: URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/38207> (дата обращения 13.02.2023)
2. Доля площади жилищного фонда, обеспеченного всеми видами благоустройства, в общей площади жилищного фонда субъекта Российской Федерации [Электронный ресурс]: URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/43507> (дата обращения 13.02.2023)
3. Медицинская паразитология. Паразитические черви: учебник — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И.П. Павлова, 2002 — 59 с.
4. Медицинская паразитология: учебник / Г.И. Мяндина, Е.В. Тарасенко — Москва: Практическая медицина, 2013 — 256 с.
5. Численность населения России, федеральных округов, субъектов Российской Федерации, городских округов, муниципальных районов, муниципальных округов, городских и сельских поселений, городских населенных пунктов, сельских населенных пунктов с населением 3000 человек и более / Численность и размещение населения, 2022 год (Сводные таблицы взяты с сайта Wikipedia)
6. Описторхоз — молчаливая эпидемия [Электронный ресурс]: URL: <http://nobhmao.ru/dlya-patsientov/employees/opistorkhoz-molchalivaya-epidemiya> (дата обращения 13.02.2023)
7. Места обитания рыбы язь [Электронный ресурс]: URL: <https://madhunter.ru/ryba-yaz> (дата обращения 13.02.2023)
8. Краснопёрка [Электронный ресурс]: URL: <https://nashzelenymir.ru/> (дата обращения 13.02.2023)
9. Фауна, биология, экология зоофильных мух в горном Дагестане и меры борьбы с ними: автореферат / Ф.Г. Рагимханова, 2009 [Электронный ресурс]: URL: <https://earthpapers.net/fauna-biologiya-ekologiya-zoofilnyh-muh-v-gornom-dagestane-i-mery-borby-s-nimi> (дата обращения 14.02.2023)

© Маслова Вероника Анатольевна (1032216064@pfur.ru); Германова Светлана Евгеньевна (germanova-se@rudn.ru);  
 Бяхова Варвара Михайловна (byakhova-vm@rudn.ru); Самброс Наталия Борисовна (sambros-nb@rudn.ru);  
 Зинченко Александра Валерьевна (zinchenko-av@rudn.ru)  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЗАИМОСВЯЗЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ В СИСТЕМЕ БЕЗОПАСНОСТИ

## THE RELATIONSHIP OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND VIDEO SURVEILLANCE IN THE SECURITY SYSTEM

**D. Andryushenkov  
N. Hadi  
N. Ushkova  
K. Bolotin**

*Summary.* The article will consider examples of integrating artificial intelligence into a video surveillance system, conduct a system analysis, show the process of their interaction, identify weaknesses, and also illustrate their inextricable link with security. A situation will be presented in which there are any threats to people and it will be shown which algorithms the system uses. During the execution, an intelligent system was developed that is able to analyze the actions on the video recordings and detect suspicious movements that precede the commission of shoplifting. The proposed system can analyze movement according to two main classifications: natural movement and suspicious movement (with the determination of the percentage of each of them). Certain practical conclusions will also be made, which, perhaps, can improve the security system and take a fresh look at emerging threats.

*Keywords:* artificial intelligence, video surveillance, threats, video analytics, system analysis, security, people, neural network, algorithms.

**Андрюшенков Дмитрий Геннадьевич**

Аспирант, МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА).  
andryushenkov@mirea.ru

**Хади Намир Мохамед**

Аспирант, МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА).  
hadi@mirea.ru

**Ушкова Надежда Николаевна**

Аспирант, МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА).  
ushkova@mirea.ru

**Болотин Кирилл Викторович**

Аспирант, МИРЭА — Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА)  
bolotin@mirea.ru

*Аннотация.* В статье будут рассмотрены примеры интеграции искусственного интеллекта в систему видеонаблюдения, проведен системный анализ, показан процесс их взаимодействия, выявлены слабые стороны, а также будет проиллюстрирована их неразрывная связь с безопасностью. Будет представлена ситуация, в которой присутствуют какие-либо угрозы для людей и будет показано, какие алгоритмы применяет система. В ходе выполнения была разработана интеллектуальная система, способная анализировать действия на видеозаписях и обнаруживать подозрительные движения, предшествующие совершению магазинных краж. Предлагаемая система может анализировать движение по двум основным классификациям: естественное движение и подозрительное движение (с определением процентной доли каждого из них). Также будут сделаны определенные практические выводы, которые, возможно, могут позволить улучшить систему безопасности и по-новому взглянуть на возникающие угрозы.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, видеонаблюдение, угрозы, видеоаналитика, системный анализ, безопасность, люди, нейронная сеть, алгоритмы.

### Введение

**В**заимосвязь искусственного интеллекта и видеонаблюдения в системе безопасности достаточно интересный предмет научной дискуссии. Основные споры ведутся в вопросе рассмотрения видеонаблюдения как обычной системы фиксации происходящего и более совершенной системы на основе искусственного интеллекта, которая способна заменить в работе человека и повысить показатели полезности. С точки зрения взаимодействия видеонаблюдения и искусственного интеллекта можно рассмотреть все возможности по совместной работе, оценить их влияние на жизнь человека и его безопасность, а также дать оценку эффективности работы системы и рассмотреть угрозы и уязвимости. Исходя из подобных рассуждений, нетрудно заметить, что

теория этого вопроса обладает большой ценностью. Из теории, в свою очередь, следуют некоторые выводы, которые обладают важным практическим значением.

### Определение системы видеонаблюдения

Обсуждение начинается с постановки вопроса, что в первую очередь представляет собой система видеонаблюдения. Ответ на этот вопрос в настоящее время имеет огромное множество различных вариантов, которые являются актуальными по мере использования системы.

На первый взгляд может показаться, что система видеонаблюдения представляет собой монитор и видеокамеры, которые фиксируют происходящее и подобная концепция достаточно проста. В этом подходе

видеонаблюдение является полностью подконтрольной человеку системой, которая выполняет свойственные ей действия по фиксации видео и никак не сможет самостоятельно повлиять на предотвращение критических ситуаций, которые могут угрожать человеку или любому другому объекту. Предполагается, что видеонаблюдение может работать в комплексе с другими составляющими системы безопасности и быть более эффективной, но нужно понимать, что ключевым механизмом в этой системе все равно является человек, без которого данная система потеряет свою актуальность и уж точно не будет эффективной. Но люди несовершенны, зачастую они несовершенны намеренно, и когда ключевой механизм системы целенаправленно пытается злоупотребить положением и нарушить законы Российской Федерации. Не стоит надеяться, что данная ситуация минует большинство предприятий, как, например, служба безопасности «Газпромбанка», где злоумышленники в сговоре с охраной заведения украли из средств банка огромную сумму денег, а «Газпромбанк» занимает лидирующие позиции по размеру активов. И таких примеров огромное количество. Подобные истории могут надвинуть на мысль ужаса и бесполезности систем безопасности, но кроме воровства, мошенничества, саботажа и многих других злоупотреблений, существуют и другие направления, в которых видеонаблюдение играет особо важную роль. Может показаться, что раз угроза возникла, а система безопасности справилась с ней, то совершенствование комплекса не актуально, но человек, живя в эпоху цифровых технологий и искусственного интеллекта, должен понимать, что угрозы с каждым днем представляют все большую опасность, и с темпами их развития должны совершенствоваться системы безопасности, которым необходимо работать на максимум своей эффективности, чтобы оправдывать себя. Без внедрения в системы видеонаблюдения интеллектуальной видеоаналитики никогда не будет возможным поймать преступника, и системы безопасности устареют [1].

#### Взаимосвязь видеонаблюдения и искусственного интеллекта

Далее предлагается рассмотреть вопрос о возможности взаимосвязи видеонаблюдения и искусственного интеллекта. Необходимо провести системный анализ. Системный анализ видеонаблюдения — это процесс анализа системы видеонаблюдения с целью определения ее эффективности и возможности улучшения ее функциональности. В рамках системного анализа видеонаблюдения рассматриваются несколько важных аспектов, таких как определение ключевых компонентов системы, разработка стратегий расположения камер наблюдения на объекте и оценка методов обработки и анализа видеoinформации. Эти три компонента играют важную роль в построении комплексной системы безопасности. Расположение видеокамер на объекте играет одну

из ключевых ролей в построении системы безопасности, ведь без правильного расположения камер дальнейшие действия будут лишены всякого смысла, система не будет работать должным образом. Как только камеры будут расположены по разработанной стратегии, в силу вступают два следующих не менее важных аспекта: определение ключевых компонентов системы и оценка методов обработки и анализа видеoinформации. В этом случае делается вывод о неизбежной интеграции искусственного интеллекта и видеонаблюдения. Данная интеграция представляет собой использование компьютерного зрения и аналитики данных для улучшения возможностей видеонаблюдения. Например, при помощи искусственного интеллекта можно обнаруживать незаконные действия, такие как магазинные кражи.

Операции по краже в магазине и их планирование являются одним из самых сложных задач классификации, поскольку люди-наблюдатели внутри центра управления должны следить за всеми перемещениями посетителей, которые совершают покупки внутри магазина в режиме реального времени. В большинстве случаев человек-наблюдатель не может распознать кражи, и это приводит к неопределенности того, что действия, совершаемые ворами, могут привести к различным исходам событий. Следовательно, одна из причин неспособности наблюдателя-человека идентифицировать операции по краже является предварительное планирование группой воров, цель которых состоит в том, чтобы отвлечь наблюдателей, и, таким образом, процесс кражи происходит без возможности человека-наблюдателя идентифицировать её. В качестве примера можно привести исследование [2], которое основывается на определении начала времени, когда началось подозрительное перемещение, и времени, когда подозрительное перемещение закончилось. Пример видео-сегментации представлен на рис. 1.

Также интеграция искусственного интеллекта может помочь в определении потенциальных опасностей, например, автомобилисты, которые ездят с нарушением правил дорожного движения. Использование искусственного интеллекта позволяет сделать видеонаблюдение более эффективным, уменьшить количество ошибок и оптимизировать процессы. К примеру, можно использовать алгоритмы глубокого обучения [3] для автоматического распознавания лиц и определения объектов на видео. Также интеграция искусственного интеллекта и видеонаблюдения позволяет улучшить аналитику и обработку данных, что дает возможность проводить более эффективный мониторинг и принимать более обоснованные решения на основе данных.

Таким образом, можно сделать вывод, что взаимосвязь искусственного интеллекта и видеонаблюдения превращается в важный инструмент системы безопас-



Рис. 1. Сегментация видео с использованием моментов, полученных методом сегмента поведения до совершения преступления [Guillermo A. Martínez-Mascorro, 2021]

ности любого предприятия. Это положительно влияет на функциональную составляющую комплекса, которая самостоятельно способна оценивать обстановку и принимать решения без участия оператора при помощи интеллектуальной видеоаналитики.

**Связь искусственного интеллекта и человека**

Связь искусственного интеллекта и человека заключается в том, что искусственный интеллект создается и управляется людьми. Они задают параметры, по которым система будет функционировать, а также обучают ее на примерах. С другой стороны, искусственный интеллект может помочь человеку в различных областях, упрощая работу и повышая производительность. Например, в медицине искусственный интеллект может помочь с диагнозом и лечением пациентов, в бизнесе — с прогнозированием продаж и оптимизацией процессов. Однако возможно появление определенных проблем, таких как замещение работ человека машинами и возможность использования искусственного интеллекта в целях контроля и манипуляции. Поэтому необходимо установить правила этического использования искусственного интеллекта. Если размышлять на тему дальнейшего взаимодействия человека и искусственного интеллекта, то можно сделать два вывода, либо в будущем наш мир превратится во что-то сказочное, по типу голливудских фильмов, где искусственный интеллект правит миром, либо же в какой-то момент интеграция может приостановиться на том уровне, где человеку все еще будет возможно контролировать систему. Хотя искусственный интеллект уже играет значительную роль в разных сферах нашей жизни, будущее обещает еще большее взаимодействие между искусственным интеллектом и человечеством. Одной из наиболее важных областей будущего взаимодействия искусственным интеллектом и людей является развитие более человеческой и гибкой ИИ. Это включает в себя улучшение навыков машинного обучения, а также развитие способностей искусственного интеллекта к адаптации к новым ситуациям и изменению своих действий в соответствии с изменяющимся окружением. Кроме того, ИИ может играть

ключевую роль в таких областях, как медицина и экология. Например, ИИ может помочь докторам в диагностике заболеваний и выборе более эффективных лекарственных средств, а также помочь врачам улучшить планирование лечения. В экологии, ИИ может помочь в заботе о природных ресурсах и борьбе с изменением климата. Однако, улучшение технологий в области ИИ может вызвать опасения и вызывать критику, особенно в контексте безопасности и конфиденциальности. Быстрое развитие ИИ может стать причиной возникновения новых этических и социальных проблем, которые мы еще не можем предугадать. Так или иначе, будущее взаимодействия ИИ и человечества обещает быть увлекательным и разнообразным, долгое время продолжая вызывать немало вопросов и дилемм [4].

**Практические ситуации с использованием интеллектуальных систем видеонаблюдения**

В предлагаемой системе видеонаблюдения, основанной на нескольких видеороликах, включающих кражи, была использована концепция, созданная в исследовании [2], но с большим улучшением работы с используемым набором данных и моментами времени, и целью этого является возможность получения наивысшей точности, чем полученная в исследовании [2]. Таким образом, в данной работе используется набор данных UCF-Crime [5] для анализа подозрительного поведения во время совершения преступных действий, связанных с кражами в магазинах. Набор данных состоит из 1900 видеозаписей наблюдений и содержит около 129 часов видеоклипов. Видео отображаются с разрешением 320x240 пикселей. Набор данных включает сценарии, сгруппированные по 13 категориям, таким как: жестокое обращение, кража со взломом, взрыв и пр. Были привлечены образцы из категорий «ограбление магазина» и «обычные» из набора данных UCF-Crime.

Что касается видеозаписей краж, видеозаписи были разделены на три разных периода следующим образом:
 

- В тот момент, когда появился вор, что было его естественным движением.

- В тот момент, когда для вора началось подозрительное движение.
- В тот момент, когда вор совершил кражу.
- В тот момент, когда кража была завершена.
- В тот момент, когда движение вернулось в норму.

Согласно этому разделению, будут извлекаться периоды как для нормального движения, так и для ненормального движения из видеозаписей кражи.

Таким образом, методология сбора набора данных основывалась на использовании видеозаписей процесса кражи для выделения моментов, когда движение было нормальным, и моментов, когда движение было ненормальным, и этот процесс поможет нейронной сети точно идентифицировать странное движение и внезап-

ное изменение, которое произошло. На рис. 2 представлена сегментация и сбор визуальных образов из видео, где происходит ограбление.

Было использовано несколько видеороликов из категории «естественное видео», поскольку были отображены все видеоролики, которые были записаны с помощью камер наблюдения в магазинах и торговых центрах. Количество видеороликов о краже, которые были использованы для обучения нейронной сети, равняется 104, а количество видеороликов, где было естественное поведение — 109. Каждый период для конкретного случая был разделен на несколько частей, чтобы повысить точность нейронной сети в определении деталей движения, поскольку движение каждый раз делилось на 400 кадров. Нейронная сеть более точно запоминает детали

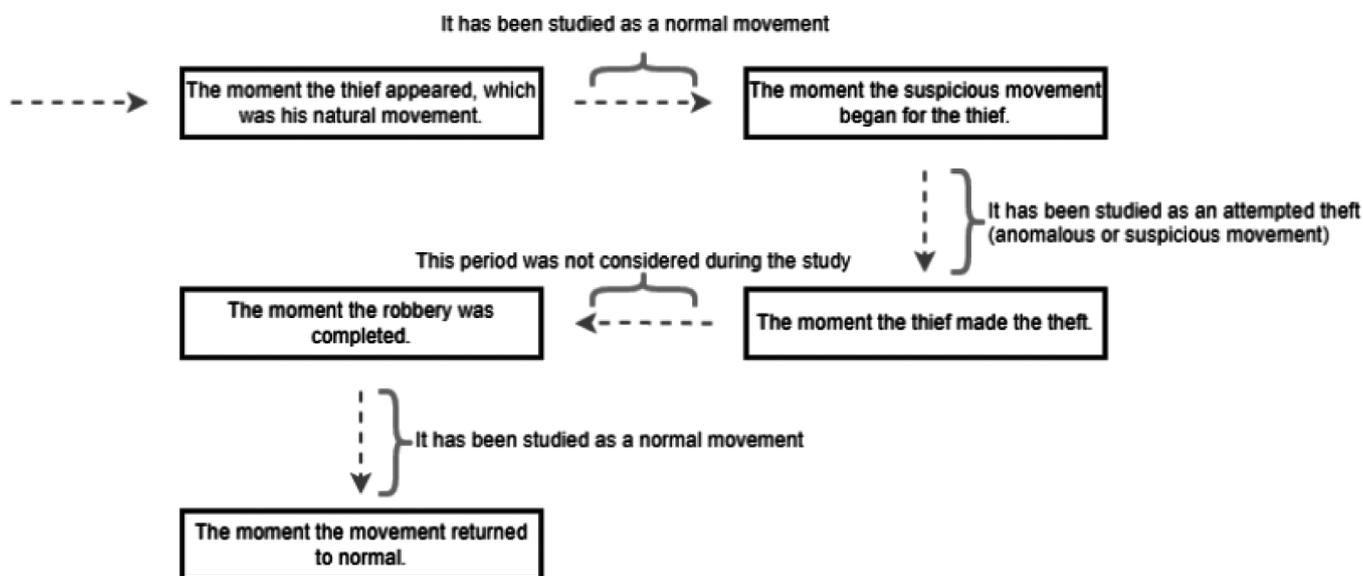


Рис. 2. Сегментация и сбор визуальных моментов из видеороликов, которые включают случаи ограбления

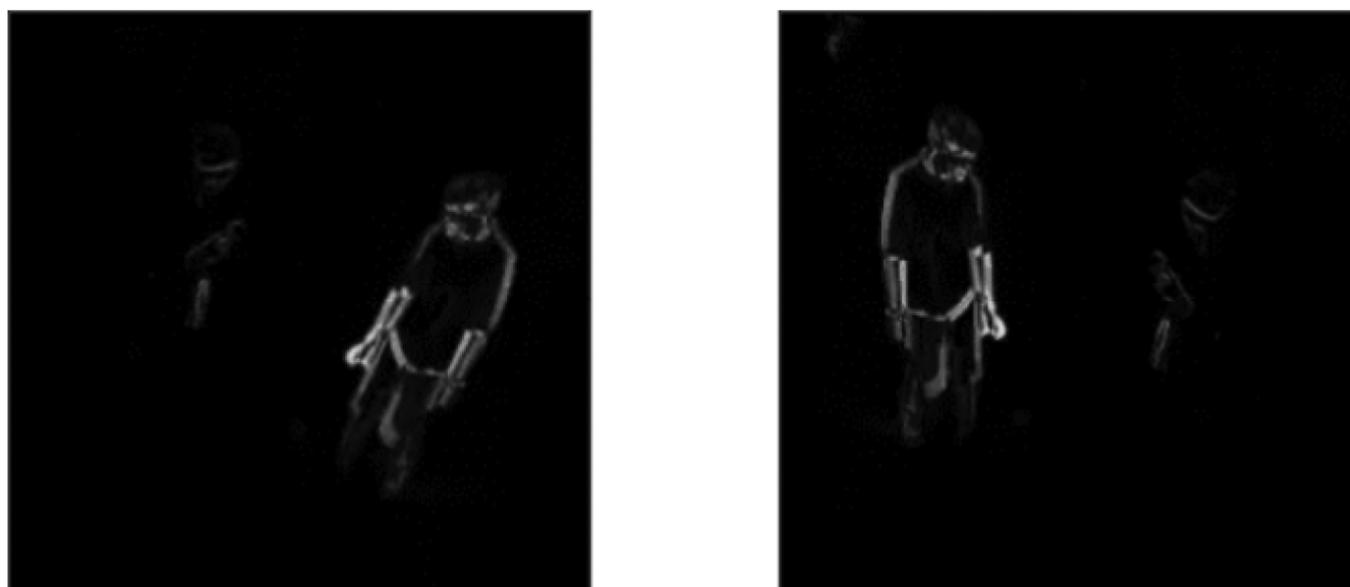


Рис. 3. Пример аугментации данных из видео

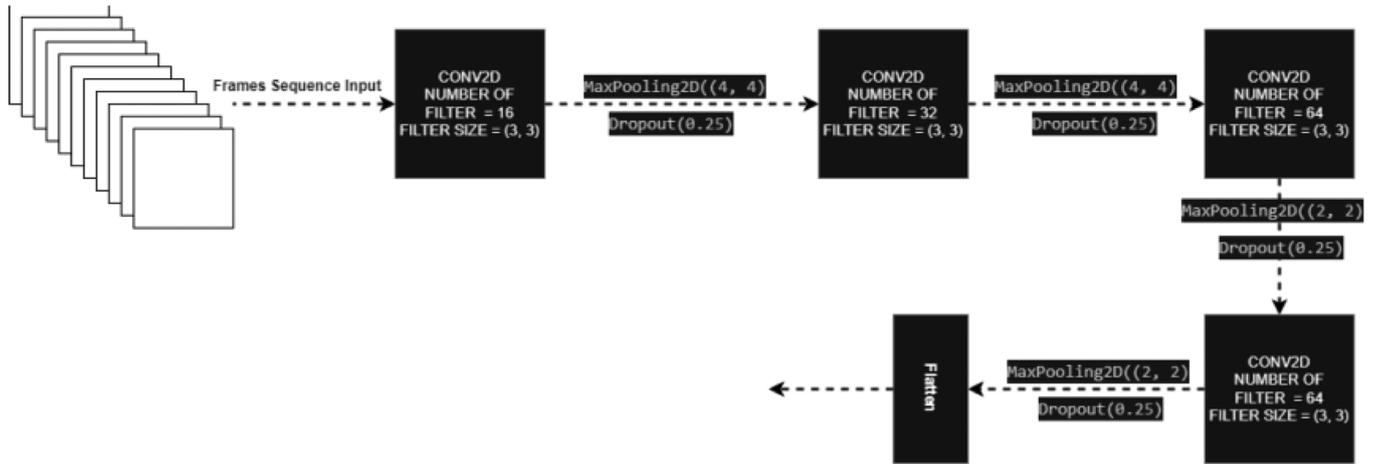


Рис. 4. Архитектура сверточной нейронной сети

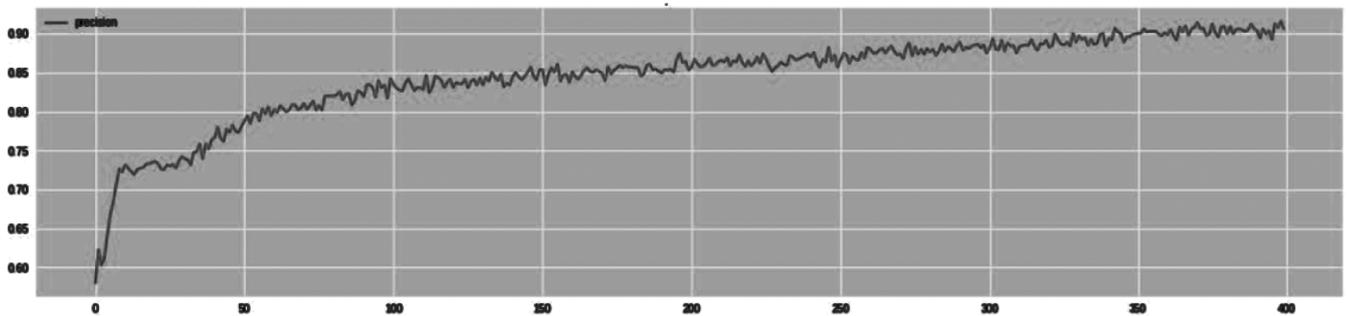


Рис. 5. Диаграмма увеличения точности на этапе обучения

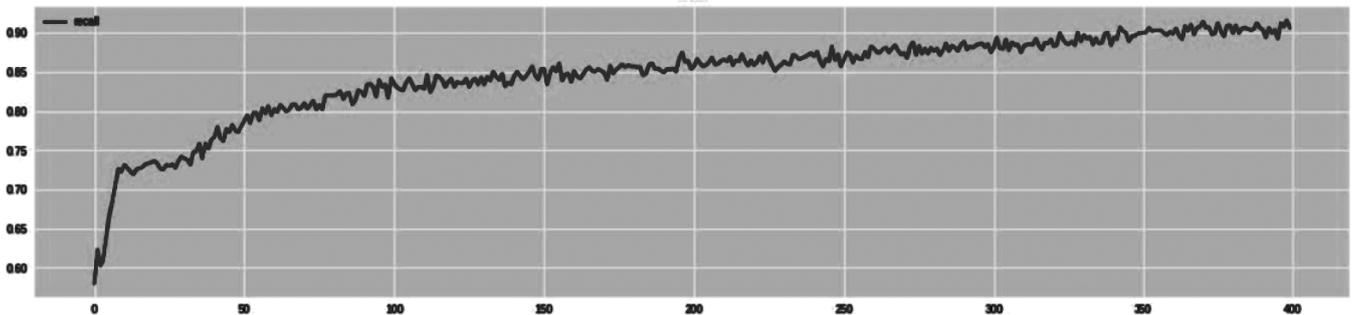


Рис. 6. Диаграмма увеличения отклика на этапе обучения

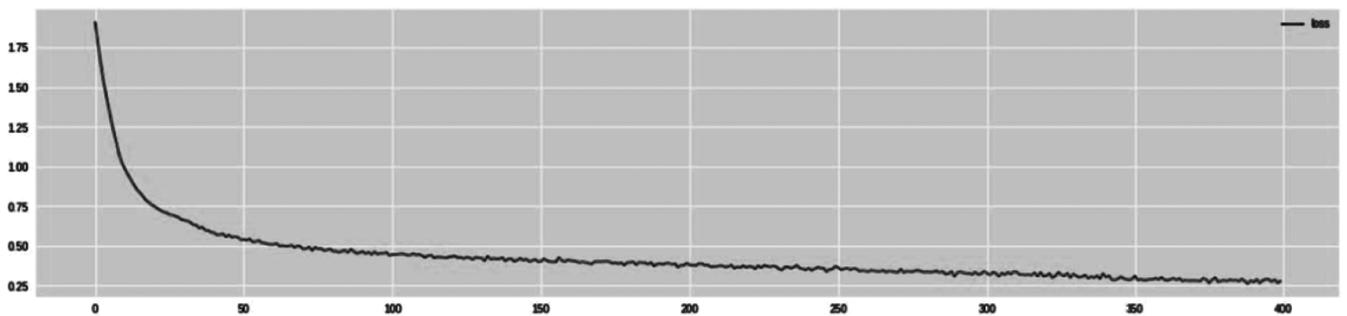


Рис. 7. Диаграмма уменьшения значения потерь на этапе обучения

подозрительного движения и естественного перемещения. Количество частей, которые были получены после изучения движения через каждые 400 символов, достигло 289 видеоклипов, представляющих подозрительное движение (движение, предшествующее краже), и 320

видеоклипов, представляющих естественное движение. На рис. 3 представлено аугментация данных из видео.

Поскольку система анализирует передвижение, обнаруживая намерение совершить кражу внутри магази-

на, то необходимо обобщить возможности нейронной сети, чтобы иметь возможность анализировать передвижение людей в контролируемой зоне, было предложено использовать аугментацию данных для генерации более значительного количества видеороликов, включающих клоны людей в контролируемой зоне с изменением направления движения по горизонтали, а также с использованием угла наклона в 30 градусов. Для данного случая было сгенерировано множество дополнительных ситуаций перемещения людей с изменением направления и угла наклона.

На рис. 4 представлена архитектура сверточной нейронной сети, которая использовалась для извлечения свойств из фреймов.

Данная сверточная нейронная сеть используется для изучения характеристик каждого кадра. Она состоит из нескольких слоев в дополнение к определению характеристик каждого из используемых слоев.

В качестве результата приведены диаграммы показывающие увеличение точности и отзыва на этапе обучения и уменьшение значения потерь.

### Заключение

Рассмотрение взаимосвязи искусственного интеллекта и видеонаблюдения оказалось очень полезным изысканием. В отдельности видеонаблюдение представляет собой примитивную систему видео фиксации, которая в скором времени потеряет свою актуальность. Искусственный интеллект в нашем мире является свежим и новым решением, которое способно превознести функциональность технической системы. Предложенная модель обеспечивает высокую вероятность обнаружения кражи (обнаружение подозрительного перемещения). Есть возможность расширить систему в будущем, изучив разведывательные данные групп и выявлять людей, планирующих кражу. Идентификация таких преступных групп помогает службам безопасности повысить точность отслеживания и мониторинга.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Могилин К.А., Карманова И.А. Интеллектуальные системы видеонаблюдения в комплексах безопасности // Известия ТулГУ. Технические науки. 2020. Вып. 3. С. 89–92.
2. Guillermo A. Martínez-Mascorro, José R. Abreu-Pederzini, José C. Ortiz-Bayliss, Angel Garcia-Collantes, Hugo Terashima-Marín Criminal Intention Detection at Early Stages of 362 // [Electronic resource] URL: <https://udimundus.udima.es/bitstream/handle/20.500.12226/736/articulo%20monterrey.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (access data — 28.05.2023)
3. Кручинин А.Ю., Колмыков Д.В., Галивом Р.Р. Алгоритм распознавания ситуаций в распределенной системе видеонаблюдения // Программные продукты и системы / Научная статья. 2018. Т. 31. № 2. С. 1–5.
4. Интеллектуальная видеоаналитика, как сделать умное наблюдение с видеоаналитикой (от бесплатной до нейросетевой) // [Электронный ресурс] URL: <https://securityrussia.com/blog/videoanalitika.html?ysclid=libp2osoxg961424378/> (дата обращения — 31.05.2023)
5. Sultani W., Chen C., Shah M. Real-world anomaly detection in surveillance videos [Electronic resource]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1801.04264.pdf> (access data: 31.05.2023)

© Андрущенко Дмитрий Геннадьевич (andryushenkov@mirea.ru); Хади Намир Мохамед (hadi@mirea.ru);  
Ушкова Надежда Николаевна (ushkova@mirea.ru); Болотин Кирилл Викторович (bolotin@mirea.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МВД РОССИИ

### ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR OPTIMIZING THE ACTIVITY OF THE MINISTRY OF INTERNAL AFFAIRS OF THE RUSSIAN FEDERATION

**A. Besleneev**

*Summary.* The article discusses the prospects and possibilities of using artificial intelligence to optimize the activities of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation. Special attention is paid to the potential of this technology for Russian government agencies. The impact of artificial intelligence on operational efficiency and data processing is also indicated. Particular attention is paid to the possibilities of artificial intelligence in the field of crime prevention.

*Keywords:* MIA, artificial intelligence, efficiency, identification.

**Бесленев Азамат Муратович**

Адъюнкт, Академия управления МВД России  
besleneev\_azamat@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются перспективы и возможности использования искусственного интеллекта для оптимизации деятельности МВД РФ. Отдельное внимание уделено потенциалу данной технологии для государственных органов России. Также обозначено влияние искусственного интеллекта на операционную эффективность и обработку данных. Особый акцент сделан на потенциале искусственного интеллекта в сфере предотвращения преступности.

*Ключевые слова:* МВД, искусственный интеллект, преступления, эффективность, идентификация.

Стремительное развитие информационных технологий привело к глобальной информатизации общества и использованию во многих сферах деятельности человека систем искусственного интеллекта (ИИ). Сегодня не подлежит сомнению тот факт, что внедрение технологий ИИ в различные сферы жизни способно качественно изменить их и способствовать повышению результативности любой деятельности, в том числе и работы органов правопорядка.

ИИ представляет собой организованную совокупность информационных технологий, с применением которой можно выполнять сложные комплексные задачи путем использования системы научных методов исследований и алгоритмов обработки информации, которая получена из внешних источников или самостоятельно сформирована во время работы, а также создавать собственные базы знаний, модели принятия решений, алгоритмы работы с информацией и определять способы достижения поставленных задач [1].

Эксперименты с использованием ИИ в различных сферах правового контроля, надзора, юридической работы показали отличные результаты. В частности, компания LawGeex, специализирующаяся на разработке ИИ для правоохранительных органов, экспериментальным путем доказала, что 10 лучших юристов-выпускников Университета Виргинии по сравнению с разработанной компанией системой ИИ дольше анализируют документы (60 против 18 минут) и менее точно осуществляют их анализ (83 % против 95 %) [2].

В целом в мире широко распространяется практика использования правоохранительными органами ИИ для предотвращения преступности, анализа больших объемов данных, составления достоверных прогнозов и аналитики. Не отстает в этом плане и Россия, активно внедряя ИИ в деятельность Министерства внутренних дел. ИИ является одним из приоритетных направлений цифровой трансформации ведомства. Вектор развития данного направления отражен в Ведомственной программе цифровой трансформации МВД России на 2022–2024 гг., основная задача которой — планомерный переход от устаревших технологий к современным цифровым решениям.

Однако, несмотря на имеющиеся достижения и разработки, эффективность этого процесса в определенной степени осложнена окончательно не сформированным механизмом правового регулирования, недостаточной законодательной базой, отсутствием широкого спектра фундаментальных научных исследований. Данные обстоятельства обусловили выбор темы данной статьи, а также являются доказательством ее актуальности, теоретической и практической значимости.

Вопросы ИИ и высоких технологий для предотвращения и противодействия преступности, расследования уголовных правонарушений, обеспечения общественного порядка прямо или косвенно рассматривали в своих научных работах такие ученые, как Черногор Н.Н., Борисенко А.Ю., Трущенко В.В., Абдурагимов Т.И., Груздев В.В., Ганжа Н.В., Орловская И.В.

Несмотря на большой интерес к данной тематике, до сих пор остаются дискуссионными и нерешенными вопросы четкой формализации сфер и областей деятельности, где использование ИИ может принести наибольшую пользу в повышении эффективности работы системы правопорядка без нарушения действующих норм и требований законодательства.

Таким образом, цель статьи заключается в проведении анализа возможностей и перспектив внедрения ИИ для оптимизации деятельности МВД России.

Безопасность общества является главным приоритетом в России, это в свою очередь выдвигает перед правительством задачу принятия надлежащих мер для повышения эффективности деятельности органов правопорядка, которая может быть эффективно решена за счет расширения и интенсификации использования ИИ. На рис. 1 в обобщенном виде представлена экономия, которую ИИ может создать в государственных органах России в целом и в системе МВД в частности.

Эксперты делают акцент на том, что более 85 % государственных органов в России, не имеющих стратегии общего опыта внедрения цифровых технологий и, в том числе, ИИ к 2024 г., не смогут преобразовать услуги, которые они предоставляют.

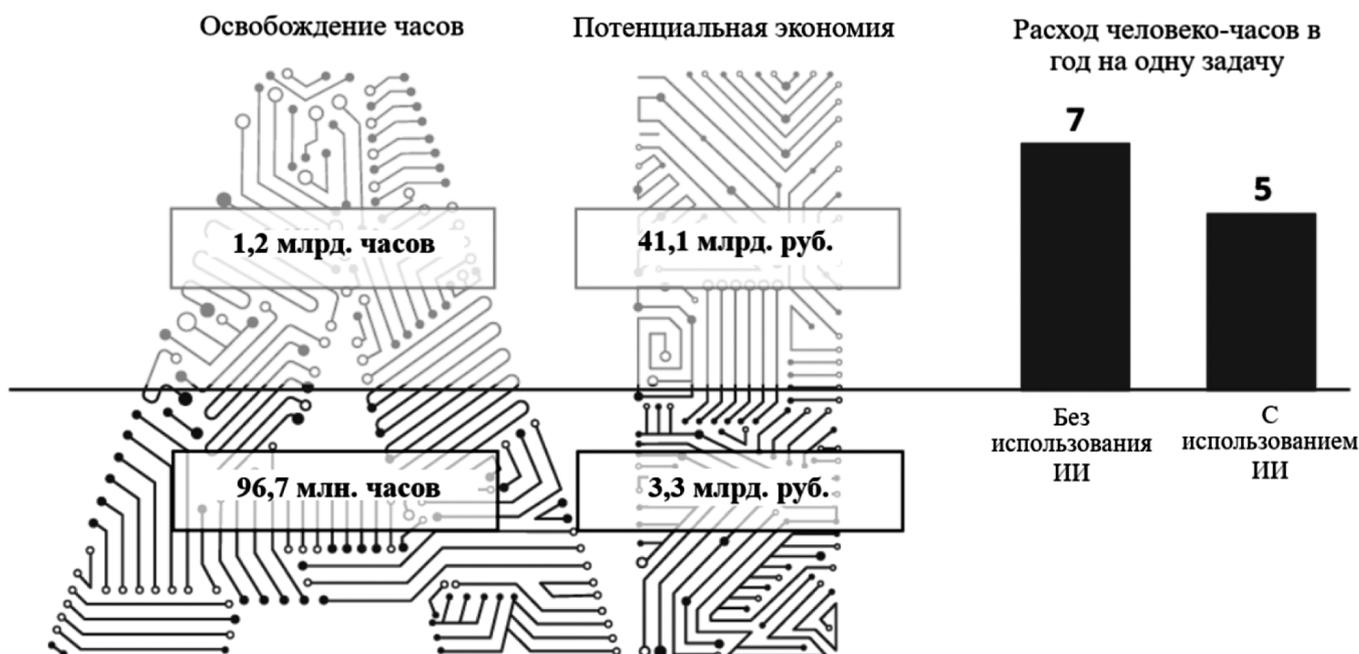
Рассмотрим более подробно, как именно технологии ИИ могут быть использованы для оптимизации деятельности МВД России.

Во-первых, экономия расходов, приходящихся на операционную деятельность. По данным журнала Коммерсант, 53 % опрошенных работников МВД России сталкиваются с чрезмерной бумажной работой, которая влияет на их способность качественно выполнять поставленные перед ними задачи. Предварительные расчеты показывают, что автоматизация ряда ежедневных операций может сэкономить от 96,7 млн до 1,2 млрд часов в год. В денежном выражении это составляет от 3,3 до 41,1 миллиарда рублей.

Во-вторых, внедрение новых или улучшение существующих услуг. Прежде всего, это касается возможностей портала «Госуслуг», а также создания понятного и удобного интерфейса, получения консультаций и ответов на вопросы в режиме диалога онлайн.

В-третьих, принятие решений на основе большого количества данных. Как известно различные структурные подразделения, департаменты, службы и управления МВД России ежедневно собирают огромное количество данных. Тем не менее, без точного анализа эта информация не позволяет получить действенные выводы. Более эффективное принятие решений способно как улучшить качество услуг, так и сэкономить расходы.

**Высокие инвестиции  
задачи ускоряются на 200%**



**Низкие инвестиции  
задачи ускоряются на 20%**

Рис. 1. Потенциал ИИ для государственных органов России при различных сценариях вложения средств [3]

Безусловно отдельную область применения ИИ в органах МВД России составляет предотвращение преступности. Одним из распространенных способов использования ИИ для предотвращения преступности является задействование так называемых интеллектуальных систем безопасности с различными устройствами (датчиками) сбора информации, прежде всего, видеокамерами высокого разрешения, а также технологии работы с Big Data [4].

По мнению автора, значительный потенциал эффективности ИИ может продемонстрировать в следующих сферах.

1. Прогнозирование преступлений и разработка рекомендации по оптимальному присутствию полиции. ИИ может быть использован для выявления закономерностей в тепловых картах полицейской деятельности для прогнозирования того, где и когда могут произойти следующие преступления, как показано на рис. 2.

Хотя справедливость алгоритмов ИИ в предиктивной полиции все еще под вопросом, рекомендации на основе ИИ могут быть использованы для определения оптимального присутствия полицейского патруля. Такие решения, как Palantir, позволяют проводить геопоиск по интересующим местам и просматривать соответствующие данные об арестах для правоохранительных органов.

2. Наблюдение. Наблюдение с помощью ИИ описывает процесс анализа алгоритмами на основе технологий машинного и глубокого обучения изображений, видео и данных, записанных с камер видеонаблюдения. Эти автоматизированные системы можно использовать для идентификации или проверки личности человека всего за несколько секунд на основе его черт лица (геометрии): расстояния между глазами, переносицы, контура губ, ушей, подбородка и т.д. Они без ограничений могут применяться в толпе, в динамичной и нестабильной среде.

3. Выявление мошеннических заявлений о выплате пособий. Мошеннические заявления стоят миллионы рублей правительству России. Обнаружение мошенничества с помощью ИИ может позволить отследить злоупотребления в программах пособий и социального обеспечения путем выявления закономерностей в заявлениях, таких как одинаковый номер телефона или заявления, написанные в одном стиле, обработка профилей социальных сетей для проверки наличия противоречивой информации по сравнению с заявлениями.

Таким образом, подводя итог, отметим, что использование ИИ в органах МВД РФ имеет не только широкие перспективы, а в некоторых случаях может стать инструментом обеспечения прав и законных интересов граждан. Кроме того, применение инструментов ИИ способно существенно уменьшить нагрузку, как на органы министерства, так и на всю правоохранительную систему в целом.

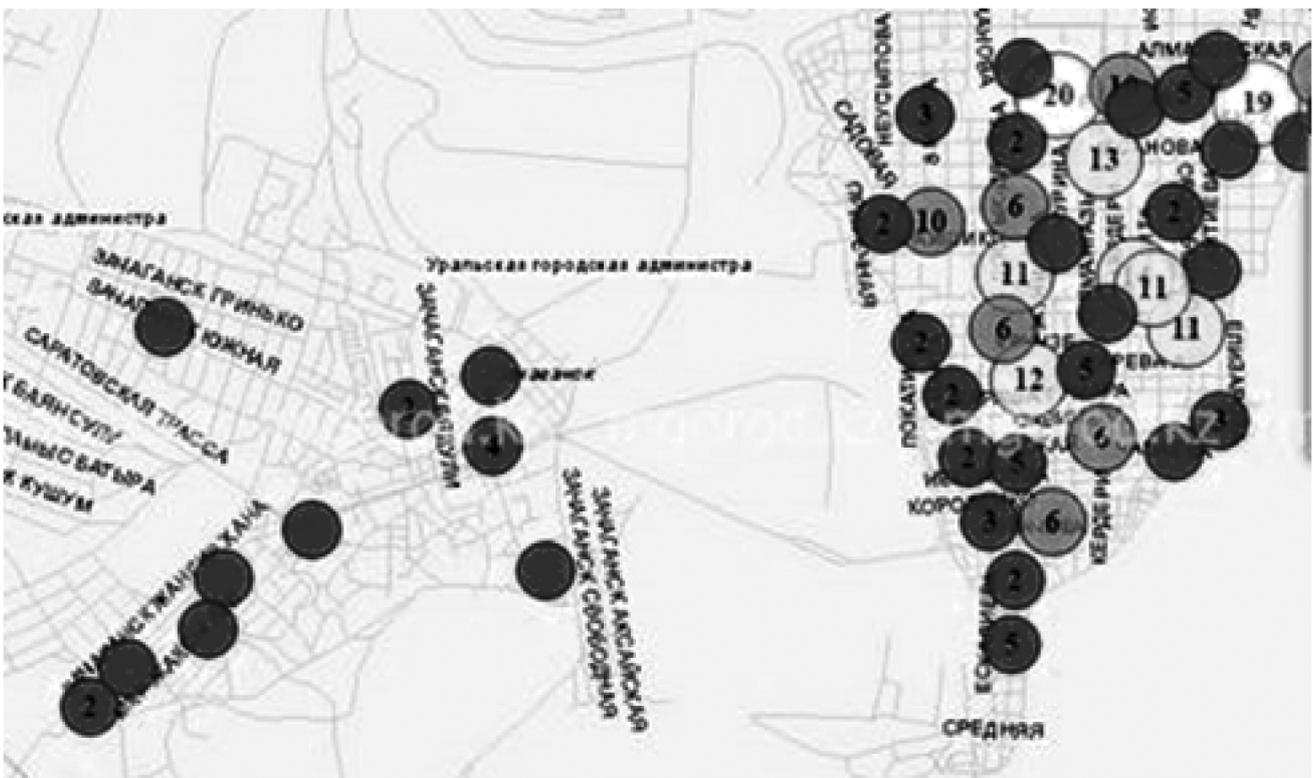


Рис. 2. Тепловая карта для прогнозирования преступлений на основе ИИ

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Перова М.В., Куреневский А.С. Проблемы использования искусственного интеллекта в государственном секторе // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 87–4. С. 83–87.
2. Харитонов О.В., Бугаёва Т.Н. Искусственный интеллект в системе государственного управления: возможности и риски // Экономика и предпринимательство. 2021. № 5 (130). С. 156–160.
3. Artificial intelligence and natural language: 11th Conference, AINL 2022, Saint Petersburg, Russia, April 14–15, 2022, revised selected papers / edited by Valentin Malykh, Andrey Filchenkov. Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. 107 p.
4. Черногор Н.Н. Искусственный интеллект и его роль в трансформации современного правового порядка // Журнал российского права. 2022. Т. 26. № 4. С. 5–15.
5. Акопова Л.А. Направления развития и применения современных технологий искусственного интеллекта в государственном управлении // Modern Science. 2021. № 1–2. С. 409–414.

---

© Бесленев Азамат Муратович (besleneev\_azamat@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ С РЕЗИСТИВНО-ЗАЗЕМЛЕННОЙ НЕЙТРАЛЬЮ<sup>1</sup>

## COMPUTER SIMULATION OF THE SYSTEM OPERATION MODES WITH RESISTIVE-GROUNDED NEUTRAL<sup>2</sup>

V. Biryulin  
D. Kudelina

*Summary.* The article deals with the issues related to the medium voltage electrical networks operation modes operating with low-resistance neutral grounding. The features of such electrical networks operation with single-phase short circuits are considered. The article presents the investigation results on the computer model created by the authors which contains the voltage values on undamaged phases in the short circuit event of one phase to the ground in the electrical network.

*Keywords:* neutral, grounding, resistor, voltage, insulation, power supply reliability, electrical load.

**Бирюлин Владимир Иванович**

кандидат технических наук, доцент, Юго-Западный  
государственный университет, Курск  
bir1956@mail.ru

**Куделина Дарья Васильевна**

кандидат технических наук, доцент, Юго-Западный  
государственный университет, Курск  
mary\_joy@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются вопросы, связанные с режимами работы электрических сетей среднего напряжения, работающих с низкоомным заземлением нейтрали. Рассмотрены особенности работы таких электрических сетей при однофазных коротких замыканиях. Представлены результаты исследования на созданной авторами компьютерной модели значений напряжений на неповрежденных фазах в случае появления в электрической сети короткого замыкания одной фазы на землю.

*Ключевые слова:* нейтраль, заземление, резистор, напряжение, изоляция, надежность электроснабжения, электрическая нагрузка.

### Введение

Электрические сети среднего напряжения или сети с номинальным напряжением 6–35 кВ в настоящее время могут выполняться и эксплуатироваться с различными способами заземления нейтрали — от изолированной нейтрали до заземленной через резистор с низким или высоким значением его сопротивления [1]. От способа заземления нейтрали зависят многие важные функции данных электрических сетей:

- бесперебойность снабжения электрической энергией потребителей;
- безопасность обслуживающего персонала и надежность электрооборудования в случаях возникновения замыканий одной фазы на землю или ОЗЗ (однофазное замыкание на землю) с учетом изменения значений напряжений на неповрежденных фазах;
- возникновение значительных перенапряжений в электрических сетях, особенно при перемежающихся ОЗЗ;
- значение тока, протекающего в месте возникновения ОЗЗ;
- принципы выполнения устройств релейной защиты от ОЗЗ в электрических сетях;

— величина уровня изоляции токоведущих частей электрических сетей и электрооборудования.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что конкретный способ заземления нейтрали в электрических сетях среднего напряжения определяет реализацию тех или иных технических решений для рассматриваемой электросети напряжением 6–35 кВ.

### Литературный обзор

Данные электрические сети с напряжениями 6–35 кВ в нашей стране имеют намного большую длину по сравнению с высоковольтными сетями. Конструктивное их выполнение, в том числе и способ заземления нейтрали, зависит от многих факторов. Известно, что в этих сетях наиболее часто по сравнению с другими видами повреждений возникают ОЗЗ [1].

Если электрическая сеть работает с изолированной нейтралью, то в этом случае в месте пробоя изоляции одной фазы на землю протекает ток замыкания. Величина данного тока определяется емкостью линии, значение которой в свою очередь зависит от суммарной длины линий, образующих рассматриваемую электрическую

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-5109.2022.4 «Разработка автоматизированной системы выявления объектов, оказывающих негативное влияние на качество электроэнергии».

<sup>2</sup> The publication was carried out with the Russian Federation President Grant financial support for young scientists state support — Candidates of Science, project No. MK-5109.2022.4 «An automated system development for identifying objects which have a negative impact on power quality».

сеть. При относительно небольших токах ОЗЗ быстрого отключения данного повреждения не производят, что позволяет увеличить надёжность электроснабжения потребителей. В разветвленных кабельных сетях среднего класса напряжения может выполняться компенсация емкостных токов с помощью дугогасящих реакторов, обеспечивает работу электрической сети в режиме компенсированной нейтрали.

Как для изолированной, так и компенсированной нейтрали, характерны следующие негативные факторы:

- возможность возникновения значительных перенапряжений, вредно влияющих на изоляцию токоведущих частей, особенно при перемежающихся замыканиях;
- поражение людей и животных шаговым напряжением, существующим на поверхности грунта при ОЗЗ;
- разрушение арматуры, находящейся в железобетонных опорах линий;
- возрастание напряжения на неповрежденных фазах до междуфазного значения относительно земли.

Для решения проблемы возникновения перенапряжений в электрических сетях среднего напряжения в случае при замыканиях на землю через перемежающуюся дугу, феррорезонансных и резонансных явлений возможно обеспечить сокращение повреждений изоляции высоковольтного оборудования за счет перехода от режима изолированной нейтрали сети к резистивному либо комбинированному (нейтраль заземлена через параллельно включенные дугогасящий реактор и резистор) способу заземления нейтрали.

В настоящее время в электрических сетях все шире применяются силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ-изоляция). Такие кабели имеют существенные преимущества перед ранее разработанными типами кабелей [2], но при использовании таких кабелей следует учитывать тот факт, что их СПЭ-изоляция имеет высокую чувствительность к различным перенапряжениям, возникающим в электрической сети при ОЗЗ [3]. Поэтому в сетях, выполненных такими кабелями, необходимо обеспечивать минимальное время отключения поврежденной линии с ОЗЗ и одновременно с этим снижать как величину перенапряжений, так и время существования этих перенапряжений. Для реализации этих требований необходимо применение режима резистивного заземления нейтрали. Данный режим имеет в нашей стране пока ограниченное распространение в отличие от других стран, где он имеет гораздо более широкую область применения [4].

Переход к резистивному заземлению нейтрали (возможны варианты заземления через большое сопротив-

ление — высокоомное заземление и через небольшое — низкоомное заземление) обеспечивает в электрических сетях среднего напряжения [5–8]:

- отсутствие значительных по величине дуговых перенапряжений и снижение вероятности перехода ОЗЗ в многофазные повреждения изоляции электрооборудования [9, 10];
- при высокоомном заземлении нейтрали возникновение ОЗЗ не является аварийным режимом, что позволяет не отключать первое возникающее в такой сети замыкание на землю;
- устранение опасности появления опасных феррорезонансных явлений, вызывающих повреждения измерительных трансформаторов напряжения;
- при низкоомном заземлении нейтрали значительно снижается вероятность поражения электрическим током людей при ОЗЗ, так как этот режим будет являться аварийным и вызовет быстрое селективное отключение релейной защитой поврежденного участка, что также позволит избежать перехода ОЗЗ в многофазное замыкание [11, 12].

Отсутствие возникновения в электрической сети дуговых перенапряжений при появлении ОЗЗ и возможность применения эффективно действующей селективной релейной защиты от таких повреждений обеспечивают эффективность применения такого режима работы нейтрали в сетях среднего напряжения [13, 14], но в перечисленных источниках не рассматривались вопросы, связанные с анализом изменения напряжений на неповрежденных фазах электрической сети при возникновении в ней ОЗЗ, что требует дополнительного изучения.

## Материалы и методы

Авторы статьи провели исследование режима работы системы электроснабжения, включающей в себя электрическую сеть среднего напряжения с низкоомным резистивным заземлением, при возникновении в ней ОЗЗ, на компьютерной модели. Данная модель была разработана в программной среде PSCAD, предназначенной для моделирования электроэнергетических систем и энергетических объектов.

Схема модели приведена на рис. 1. Данная расчетная схема включает в себя питающую систему с напряжением 220 кВ, трансформаторную подстанцию с трансформатором, от которого через реакторы питаются две секции шин с отходящими от них кабельными линиями. Режимы нейтрали, реализованные на подстанции: сторона 220 кВ с глухозаземленной нейтралью, сторона 20 кВ с резистивно-заземленной нейтралью (сопротивление заземления 12 Ом).

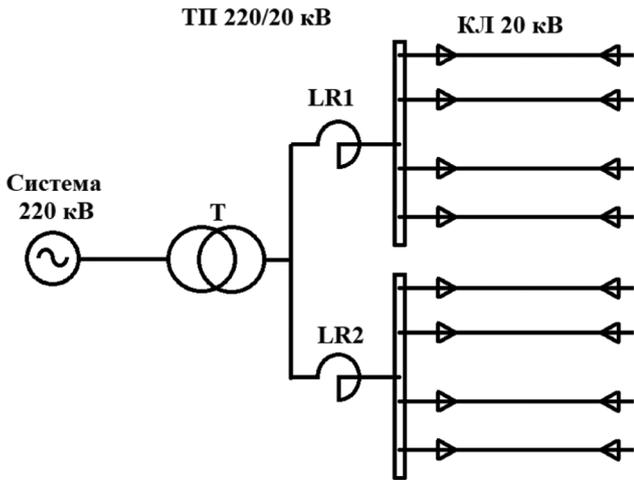


Рис. 1. Расчетная схема моделируемой системы электроснабжения

Моделирование работы данной системы производилось для двух режимов. Первый — установившийся режим, в котором производились измерения напряжений на фазах первой секции шин. Второй режим — возникновение однофазного КЗ, при котором происходило замыкание на землю фазы А. Так как вся модель исследуемой системы электроснабжения имеет большие размеры, то в статье приводится только два фрагмента этой модели — рис. 2 и рис. 3.

На этом рисунке показана модель кабельной линии, отходящей от секции шин напряжением 20 кВ. В PSCAD каждая кабельная линия состоит из трех компонентов. Первый компонент ( $S_1$  и  $S_2$ ) представляет собой разде-

литель одного трехфазного сигнала на три однофазных, и он применяется как для приемного конца линии ( $S_1$ ), так и для передающего ( $S_2$ ).

К однофазным выводам подключаются компоненты кабельного интерфейса (C1, C2, C3), с помощью которых задается число жил кабеля, его конструкция (например, токоведущая жила, изоляция жилы, экран, оболочка). Здесь же задается способ заземления экрана (по умолчанию или же через явно выраженные выводы, как показано на рис. 2). На рисунке показано присоединение этих экранов к заземляющим устройствам трансформаторной подстанции и распределительного пункта.

Остальные данные задаются непосредственно в компоненте кабельной линии (включена между кабельными интерфейсами) — длина, геометрические размеры конструктивных элементов, характеристики материалов, примененных при изготовлении кабеля (удельные сопротивления, диэлектрическая проницаемость и т.д.).

На рис. 3 представлен фрагмент компьютерной модели, где вертикальная линия представляет часть секции шин напряжением 20 кВ. К этой секции шин подключены трехфазный измеритель напряжения с меткой Ea\_1, осуществляющий измерение значений фазных напряжений относительно земли. Вывод результатов измерений этих напряжений производился в окно построения графиков.

Значение напряжения каждой фазы определялось измерителями Ua, Ub, Uc. Эти измерители подключены к секции шин через разделитель трехфазных сигналов

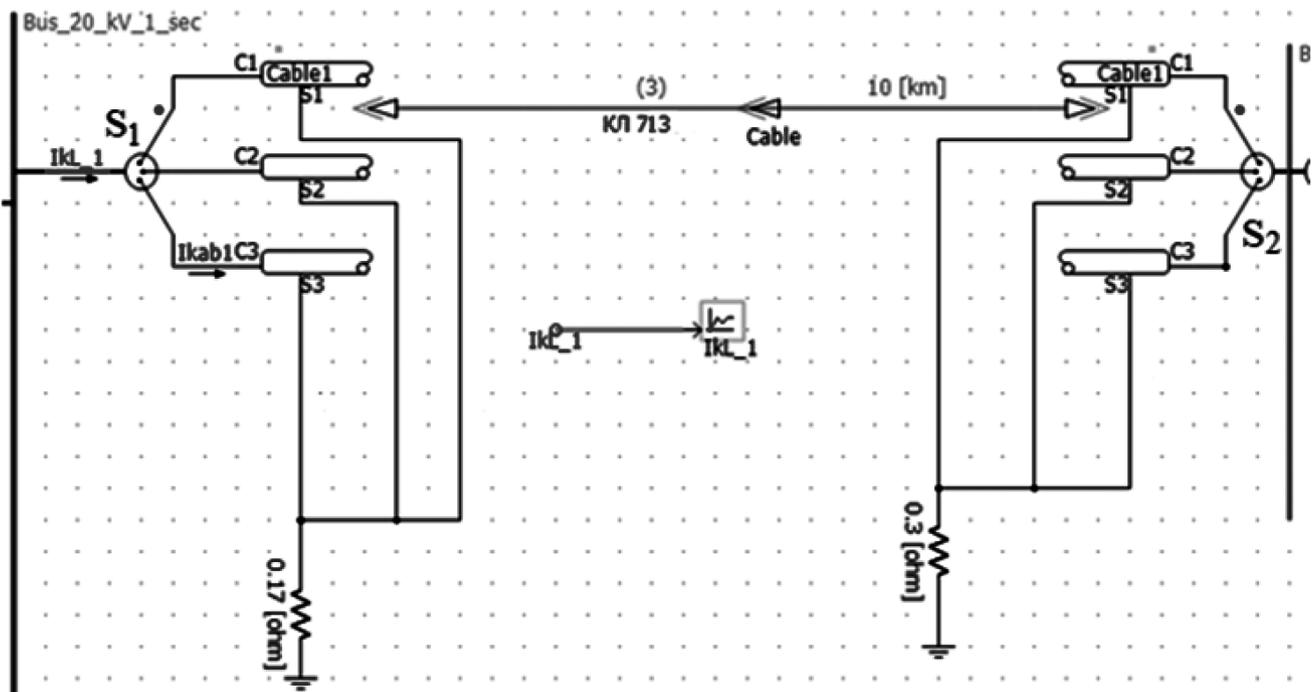


Рис. 2. Модель кабельной линии

на однофазные. Вывод результатов этих измерений производился на измерительные приборы для регистрации действующих значений напряжения.

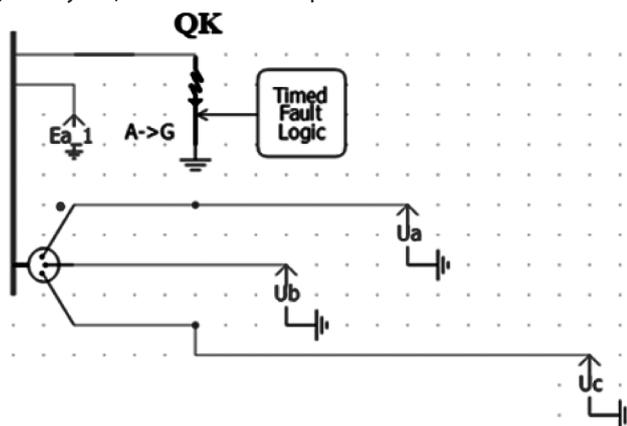


Рис. 3. Фрагмент компьютерной модели

### Результаты

Моделирование возникновения однофазного КЗ производилось с помощью короткозамыкателя QK. Он осуществлял замыкание фазы А на землю (вид повреждения указан рядом с пиктограммой этого компонента, он указывается автоматически после выбора вида повреждения) в установленный при наладке модели момент времени.

Таким образом, в модели системы электроснабжения производились измерения напряжений фаз относительно земли с регистрацией величин этих напряжений, как в виде графика, так и в виде числовых показаний измерительных приборов (действующие значения).

На рисунке 4 приведен фрагмент графика фазных напряжений в исследуемой модели. До момента времени

1,0 с существовал установившийся режим, после этого момента времени — однофазное КЗ. По графику хорошо видно, что после возникновения однофазного КЗ напряжение фазы А становится практически равным нулю, а напряжения неповрежденных фаз В и С возрастают.

Для более полного исследования влияния величины сопротивления заземления нейтрали обмотки силового трансформатора с номинальным напряжением 20 кВ (сторона НН), к которой подключается кабельная сеть среднего напряжения, было выполнено моделирование возникновения однофазного КЗ при различных значениях сопротивления заземления нейтрали. При этом моделировании фиксировались значения напряжений фаз в предшествующем (нормальном) режиме работы и в режиме замыкания фазы А на землю. Результаты данного моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты моделирования нормального и аварийного режимов работы исследуемой системы электроснабжения

R, Ом	U <sub>A</sub> , кВ	U <sub>B</sub> , кВ	U <sub>C</sub> , кВ
1	12,83/0,09	12,83/16,30	12,83/17,85
2	12,83/0,05	12,83/19,42	12,83/21,62
5	12,83/0,02	12,83/21,50	12,83/23,38
12	12,83/0,01	12,83/22,22	12,83/22,23
15	12,83/0,01	12,83/22,32	12,83/22,98
20	12,83/0,00	12,83/22,42	12,83/22,92
25	12,83/0,00	12,83/22,48	12,83/22,88
30	12,83/0,00	12,83/22,51	12,83/22,86
50	12,83/0,00	12,83/22,58	12,83/22,80

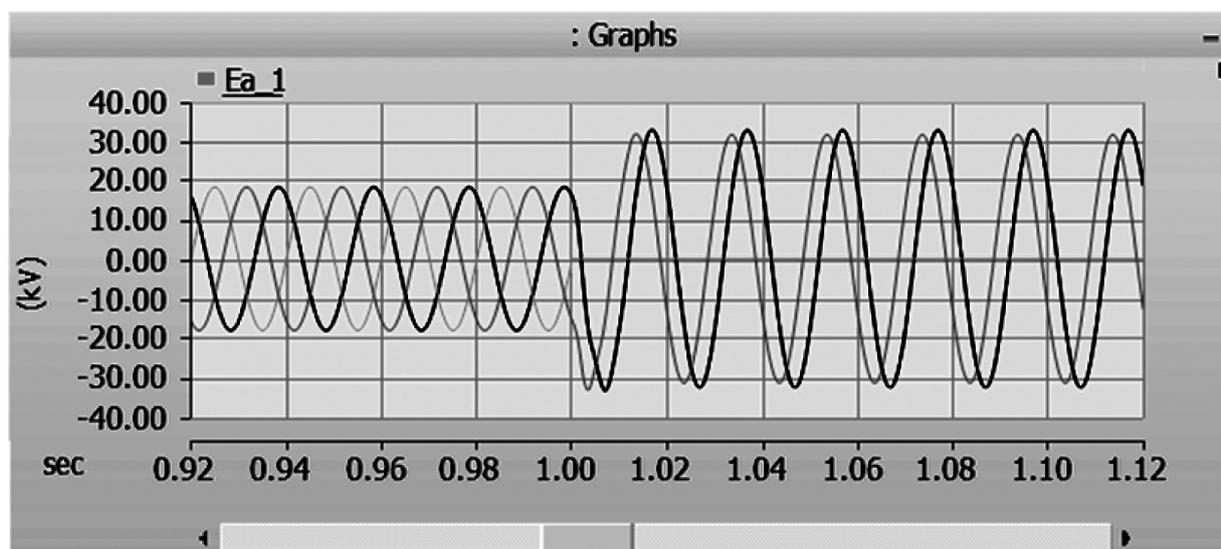


Рис. 4. График фазных напряжений до и после возникновения однофазного короткого замыкания

Как видно из данных, приведенных в таблице 1, при возникновении однофазного КЗ происходит возрастание напряжения на неповрежденных фазах.

Для более полного анализа полученной информации произведем обработку полученных данных. В ходе обработки данных рассчитывались значения коэффициентов, выражающих отношения напряжений на неповрежденных фазах в режиме однофазного КЗ и нормальном режиме работы для фазы В и фазы С соответственно, как:

$$K_B = \frac{U_{BK}}{U_{BH}},$$

$$K_C = \frac{U_{CK}}{U_{CH}},$$

где  $U_{BK}$  и  $U_{CK}$  — напряжения на фазах В и С в режиме однофазного КЗ;  $U_{BH}$  и  $U_{CH}$  — напряжения на фазах В и С в нормальном режиме работы.

Полученные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Отношения напряжений на неповрежденных фазах

R, Ом	$K_B$ , кВ	$K_C$ , кВ
1	1,27	1,39
2	1,51	1,69
5	1,68	1,82
12	1,73	1,73
15	1,74	1,79
20	1,75	1,79
25	1,75	1,78
30	1,75	1,78
50	1,76	1,78

### Обсуждение

Произведем анализ данных, приведенных в табл. 1. Если сопротивление резистора, осуществляющего заземление нейтрали, составляет 12 Ом (как приведено в [3]), то при такой величине этого сопротивления в режиме однофазного КЗ на землю на неповрежденных фазах возникает напряжение, равное междуфазному или линейному значению.

Данная ситуация практически соответствует режиму изолированной нейтрали по величине напряжений на неповрежденных фазах. Конечно, в отличие от изолированной нейтрали, в системе с резистивно-заземленной нейтралью (особенно в случае применения низкоомного заземления нейтрали) замыкание одной фазы на землю является аварийным режимом, требующим быстрого отключения возникающего повреждения.

Поэтому в данном случае исключается длительное воздействие повышенного напряжения на изоляцию токоведущих частей и электрооборудования. Но все же такое повышение напряжения следует учитывать при разработке электрооборудования и проектировании электрических сетей среднего напряжения, работающих в режиме низкоомного заземления нейтрали питающей обмотки силовых трансформаторов.

Также повышение напряжения, пусть и кратковременное, может послужить причиной для возникновения насыщения стали магнитопроводов трансформаторов напряжения и резкого изменения индуктивного сопротивления первичной обмотки. Это явление может послужить причиной резонанса при определенном сочетании параметров элементов между индуктивностью первичной обмотки трансформатора напряжения и емкостью кабельных линий.

### Заключение

Разработанная авторами статьи компьютерная модель может использоваться для анализа режимов работы электрической сети среднего напряжения с низкоомным заземлением нейтрали. При проведении моделирования было выявлено, что работа такой сети с сопротивлением заземления нейтрали, равным 12 Ом, при однофазном замыкании на землю сопровождается повышением напряжения на неповрежденных фазах этой сети от фазного до междуфазного значения.

Такой рост напряжения, несмотря на его кратковременность, обусловленную срабатыванием релейной защиты и отключением поврежденного элемента сети, может негативно сказываться на работе электрооборудования. Для снижения такого негативного воздействия целесообразно снижать величину сопротивления заземления нейтрали, обязательно рассматривая при этом возможные последствия от возрастания тока однофазного КЗ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михеев, Г.М., Зиганшин, А.Г. Возможность влияния современных технологий на режим нейтрали электрических сетей // Вестник Чувашского университета. 2021. №3. С. 103–112. doi: 10.47026/1810-1909-2021-3-103-112.
2. Майоров, А.В., Челазнов, А.А., Ильиных, М.В. Экспериментальные исследования переходных процессов при однофазных замыканиях в сети 20 кВ // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. №6. С. 23–29.
3. Короткевич, М.А., Подгайский, С.И., Голомуздов, А.В. Эффективность применения кабелей напряжением 6–110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Часть 1 // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2017. №5. С. 417–432.
4. Бакиров, А.Р., Васильева, А.Ю., Ширковец, А.И., Телегин, А.В. Опыт применения резистивного заземления нейтрали в сетях 6–10 кВ горнорудной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. №4. С. 328–334.
5. Евминов, Л.И., Алферова, Т.В. Резистивное заземление нейтрали в распределительных сетях 6–35 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2019. №4 (25). С. 94–109.
6. Евминов Л.И., Алферова Т.В. Применение резистивного заземления нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2022. №2 (89). С. 53–67.
7. Лоскутов, А.А., Кузина, О.В. Анализ применения резистивного заземления нейтрали в распределительных сетях на основе имитационного моделирования // Интеллектуальная электротехника. 2019. №2. С.61–71.
8. Куликова, Н.А., Титаренко, О.Н., Тяпкина, В.А. Резистивное заземление нейтрали — способ повышения надёжности работы электрических сетей 6–35 кВ // Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4, № 2. С. 32–38.
9. Ощепков, В.А., Владимиров, Л.В., Плотников, Д.И., Шакинов, Е.Е., Мельников, С.А., Паламарчук, Д.В. Влияние режима работы нейтрали распределительных электрических сетей на уровень перенапряжений при однофазном замыкании на землю // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №1 (67). С. 119–123. doi: 10.23670/IRJ.2018.67.090.
10. Ляхомский, А.В., Герасимов, А.И., Перфильева, Е.Н. Моделирование режимов однофазных замыканий на землю в электрических сетях напряжением 6 кВ открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. №2. С. 164–178. doi: 10.25018/0236-1493-2021-2-0-164-178.
11. Андреев, А.А. Анализ существующих разновидностей защит от однофазных замыканий на землю и условия их применения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2021. №4 (72). С. 56–70. doi: 10.14498/tech.2021.4.5.
12. Булычев, А.В. Выбор параметров срабатывания защит от однофазных замыканий на землю в распределительных сетях при разных режимах нейтрали // Релейная защита и автоматизация. 2022. №1(46). С. 36–45.
13. Куликова, Н.А., Титаренко, О.Н., Тяпкина, В.А. Резистивное заземление нейтрали — способ повышения надёжности работ электрических сетей 6–35 кВ // Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4, № 2. С. 32–38.
14. Кузьмин И.А., Магдеев Н.Н., Евдокунин Г.А., Брилинский А.С., Грунина О.И. Переход к резистивному заземлению нейтрали в сети 6–10 кВ ПАО «Ленэнерго» как шаг на пути к автоматизации // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. № 3(10). С. 18–25.

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ ВЕРШИН ГРАФА

## USE OF GRAPH NEURAL NETWORKS FOR SOLVING THE PROBLEM OF CLASSIFICATION OF GRAPH VERTICES

R. Vasiliev

*Summary.* The tasks of classifying objects are encountered quite often in the framework of work in the industry. In most cases, they are solved on the basis of basic characteristics (by classical machine learning algorithms), without taking into account graph information. The hypothesis of the study was that methods that take into account the graph structure will give higher quality models.

In this paper, several approaches to solving the classification problem using graph information are presented and tested. They are based on real data from a large Russian telecommunications company. Such methods have not been used in the Russian telecom before.

Ultimately, in 2 out of 3 studied projects, it was possible to obtain increases in the quality of the models.

*Keywords:* neural networks, graph information, graph vertices.

Васильев Роман Александрович

Московский государственный университет  
r.a.vasiliev1998@gmail.com

*Аннотация.* Задачи классификации объектов встречаются достаточно часто в рамках работы в индустрии. В большинстве случаев они решаются на основе базовых характеристик (классическими алгоритмами машинного обучения), без учёта графовой информации. Гипотеза исследования заключалась в том, что методы, которые учитывают графовую структуру, дадут более высокое качество моделей.

В данной работе приведены и протестированы несколько подходов к решению задачи классификации с использованием графовой информации. Они основываются на реальных данных крупной российской телекоммуникационной компании. Подобные методы в российском телекоме прежде не использовались.

В конечном итоге в 2 из 3 исследуемых проектов удалось получить приросты качества моделей.

*Ключевые слова:* нейронные сети, графовая информация, вершин графа.

Нейронные сети (в частности — свёрточные нейронные сети) произвели большой бум в области обработки изображений, сигналов и текста. Но напрямую применить их к графам невозможно — графы, в отличие от описанных сущностей, не имеют чёткой точки отсчёта, порядка и, как правило, динамические. Решить эту проблему позволяют графовые нейронные сети и более продвинутые подходы — свёрточные графовые нейронные сети (GCN, Graph Convolutional Networks). Они агрегируют информацию наборов вершин, что позволяет чётко отобразить графовую структуру, и, кроме того, способны работать с характеристиками вершин графа.

Формализуем задачу.

Дан граф  $G$ , в котором:

- $V$  — набор вершин;
- $A$  — матрица смежности (предполагаем бинарную);
- $X$  — матрица характеристик вершин

Метод GCN напрямую опирается на структуру графа и характеристики «соседей». Основная идея этого подхода заключается в использовании своего рода «свёрток» для вершин графа. Однако, в отличие от изображений, в графовых нейронных сетях именно сам граф будем определять структуру нейронной сети. На (Рис. 1) представлен алгоритм обработки вершины  $i$ . Её эмбединг

будет строиться на основе многоступенчатой агрегации и преобразования признаков окружающих вершин. Главным вопросом является то, как строить эти агрегаты, т.е. как распространять информацию сквозь граф. Рассмотрим идею, предложенную William L. Hamilton, Rex Ying, Jure Leskovec в [1].

Самый базовый подход — усреднять входящие в оператор вектора и применять к результату нейронную сеть. Тогда, согласно описанному выше:

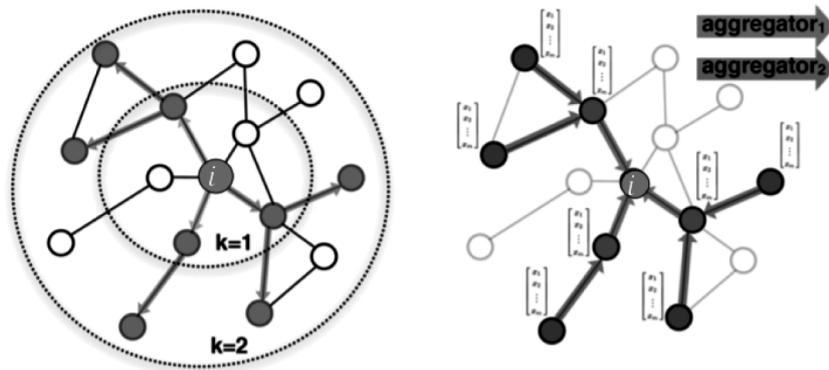
$$\begin{cases} h_v^0 = x_v \\ h_v^k = \sigma(W_k \sum_{u \in N(v)} \frac{h_u^{k-1}}{|N(v)|} + B_k h_v^{k-1}), \forall k \in 1, \dots, K, \\ z_v = h_v^K \end{cases}$$

где  $h_v^i$  — представление эмбединга на  $i$ -м слое;  
 $\sigma(x)$  — некоторое нелинейное преобразование;  
 $x_v$  — вектор признаков вершины  $v$ ;  
 $z_v$  — итоговый эмбединг вершины  $v$ ;  
 $W_k, B_k$  — параметры сети.

Чтобы подобрать параметры сети, нужно определить функцию потерь и запустить стохастический градиентный спуск.

Далее есть 2 пути:

- Unsupervised Learning — обучение без учителя. В этом случае можно заняться решением задачи



Формирование вычислительного графа для вершины  $i$

Распространение и преобразование информации

Рис. 1. Соседи вершины  $i$  определяют алгоритм расчёта эмбединга для неё

построения эмбедингов вершин. В таком случае, в качестве метрики можно взять ту же, что и в методе node2vec;

- Supervised Learning — обучение с учителем. Примером такой задачи может служить определение класса вершин. В этом случае известно к какому классу принадлежат те или иные вершины. Тогда, на основе графовой информации (методами GCN) можно предсказать, к какому из них принадлежат остальные. Например, с помощью этого метода на основе данных телекоммуникационной компании можно определить является ли данный человек фанатом той или иной команды или нет.

Для решения задачи бинарной классификации адаптируем Cross-entropy loss под нашу задачу. Тогда функция потерь будет выглядеть следующим образом:

$$L = \sum_{v \in V} y_v \log(\sigma(z_v^T \theta)) + (1 - y_v) \log(1 - \sigma(z_v^T \theta)),$$

- где  $z_v$  — эмбединг вершины  $v$ ;  
 $\theta$  — вектор весов для классификации;  
 $y_v \in \{0, 1\}$  — реальный класс вершины.

Несомненным преимуществом данного подхода является то, что имеется возможность обучаться (подбирать параметры  $W_k$  и  $B_k$  на части графа). Затем, основываясь на них, мы можем рассчитать предсказание для новых вершин, не пересчитывая всю модель.

GCN — самая базовая архитектура, которая часто применяется на практике. Тем не менее, распространены и применяются в том числе следующие подходы:

- Graph Neural Networks (GNN) — классические графовые нейронные сети, без свёрток;
- GraphSAGE — развитие идей GCN, с более широким спектром возможных функций агрегации
- Graph Attention Networks (GAT) — графовые нейронные сети с механизмом внимания, которые позволяют автоматически (с помощью отдельной сети) настраивать веса для агрегации.

В рамках исследования было решено провести тестирование моделей на трёх проектах:

- Определение абонентов-мошенников. Одной из важных задач компании является выделение абонентов-спамеров, которые проявляют подозрительную активность и выполняют неправомерные действия;
- Предсказание оттока пользователей. Задача заключается в прогнозировании склонности клиента сменить оператора и во многом завязана на графовой структуре (если контакты рассматриваемого клиента меняют оператора, то и он с высокой вероятностью это сделает);
- Модель предсказания пола абонента. В современных реалиях маркетинг является неотъемлемой частью работы телекоммуникационной компании. Часто возникает задача определения демографических характеристик пользователей (пол, возраст и т.д.). Эти параметры указываются при оформлении номера, но фактически часто симкартами пользуются не те люди, на которых они оформлены, поэтому задача весьма актуальна.

Все описанные выше задачи сводятся к построению моделей бинарной классификации на уровне абонентов (вершин графа).

В рамках компании уже были разработаны классические модели машинного обучения (на основе XGBClassifier). Тем не менее, они не учитывают графовую структуру, поэтому ожидается получить приросты при использовании графовых подходов. При сравнении моделей рассматривается прирост метрики в процентном соотношении от первоначального (т.е. если метрика была 0.8, а стала 0.88, то прирост составил 10 %). В качестве целевой метрики использовался Precision on top.

Все модели обучались с тщательным подбором гиперпараметров (с помощью кросс-валидации). В качестве функционала потерь использовался Cross entropy

loss, в качестве оптимизатора — Adam optimizer (тестировался в том числе SGD optimizer, на Adam показал лучшее качество). За основу программных реализаций были взяты модули GCNConv, GATConv, SAGEConv, GeneralConv из открытой библиотеки torch geometric.

В конечном итоге удалось получить следующие приросты:

Модель	GNN	GCN	GraphSAGE	GAT
Отток	0.11%	0.86%	0.84%	1.15%
Мошенники	0.46%	0.95%	1.13%	1.67%
Пол	<0%	<0%	0.17%	0.13%

Таким образом, в задачах Оттока и Поиске Мошенников использование графовых нейронных сетей действительно позволило получить более высокое качество моделей. Стоит отметить, что подходы GraphSAGE и Graph Attention Network показали себя более гибкими в применении и дали значимые приросты метрик.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. William L. Hamilton, Rex Ying, Jure Leskovec: Representation Learning on Graphs: Methods and Applications: <https://arxiv.org/pdf/1709.05584.pdf>
2. Yoav Goldberg and Omer Levy: word2vec Explained: Deriving Mikolov et al.'s Negative-Sampling Word-Embedding Method <https://arxiv.org/pdf/1402.3722.pdf>
3. S. Cao, W. Lu, and Q. Xu. Deep neural networks for learning graph representations. In AAAI, 2016

© Васильев Роман Александрович (r.a.vasiliev1998@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ДИНАМИКА ЧИСЕЛ ВОЛЬФА И СТРУКТУРНЫЕ ФУНКЦИИ КОЛМОГОРОВА

## DYNAMICS OF WOLF NUMBERS AND STRUCTURAL FUNCTIONS OF KOLMOGOROV

**A. Vysotskaya  
E. Pronina**

*Summary.* One of the features of the Sun is almost-periodic, regular changes in various manifestations of solar activity. The most well-known phenomenon is sunspots, areas with a strong magnetic field and low temperature, the number of which is determined by Wolf numbers. The study of solar activity and the prediction of its changes are of great interest for various fields of knowledge, for example, for describing the future, current and past state of the atmosphere. Kolmogorov's structural functions make it possible to identify the periodic components of the process, which makes it possible to make effective systemic forecasts. The article is devoted to the analysis of the features of Kolmogorov's structural functions. The apparatus of structural functions is a tool for studying random processes with stationary increments.

On the example of the dynamics of Wolf numbers, it is shown that two qualitatively different ranges are distinguished in the structure functions. In the first, the scale dependence of the structure function follows a power law. Here the self-similarity property is realized. Oscillating components are observed in the second range. In this case, the boundaries of self-similarity are interconnected with the position of local minima of the structural function, by which almost-periods of oscillations are determined. Therefore, to reveal hidden periodicities, all features of structural functions turn out to be significant: the boundaries of scale invariance ranges, points of phase change, maxima and minima.

*Keywords:* processes with stationary increments, structural function, scaling, almost-period, Wolf's numbers.

**Высоцкая Анна Аркадьевна**

Ассистент, Российский технологический университет  
МИРЭА, г. Москва,  
anVysa@mail.ru

**Пронина Елена Николаевна**

Канд. Экон. Наук, доцент, Российский технологический  
университет МИРЭА, г. Москва,  
pvi173@rambler.ru

*Аннотация.* Одной из особенностей Солнца являются почти-периодические, регулярные изменения различных проявлений солнечной активности. Наиболее известное явление — это солнечные пятна, области с сильным магнитным полем и пониженной температурой, количество которых определяется числами Вольфа. Изучение солнечной активности и предсказание ее изменения представляют большой интерес для различных областей знаний, например, для описания будущего, текущего и прошлого состояния атмосферы. Структурные функции Колмогорова позволяют выявить периодические составляющие процесса, что дает возможность делать эффективные системные прогнозы.

Статья посвящена анализу особенностей структурных функций Колмогорова. Аппарат структурных функций является инструментом исследования случайных процессов со стационарными приращениями.

На примере динамики чисел Вольфа показано, что в структурных функциях выделяются два качественно различающихся диапазона. В первом зависимость структурной функции от масштаба следует степенному закону. Здесь реализуется свойство автомодельности. Во втором диапазоне наблюдаются осциллирующие компоненты. При этом границы автомодельности взаимосвязаны с положением локальных минимумов структурной функции, по которым определяются почти-периоды колебаний. Поэтому для выявления скрытых периодичностей значимыми оказываются все особенности структурных функций: границы диапазонов масштабной инвариантности, точки изменения фаз, максимумы и минимумы.

*Ключевые слова:* случайные процессы со стационарными приращениями, структурные функции, автомодельность, почти-период, числа Вольфа.

### Введение

В начале сороковых годов прошлого столетия А.Н. Колмогоровым было введено понятие случайного процесса со стационарными приращениями. Инструментом исследования подобных процессов стал аппарат структурных функций. В одном из наблюдаемых диапазонов турбулентного течения (инерционном диапазоне) теория Колмогорова предсказывает степенной закон зависимости структурной функции от масштаба, иначе говоря, свойство автомодельности структурной функции.

В настоящее время исследователи, применяющие аппарат структурных функций, работают в двух направ-

лениях. Одни ориентированы на анализ колебательной составляющей структурных функций: по положению локальных минимумов возможно определить характерные для процесса почти-периоды. Другие изучают свойства автомодельности структурной функции, определяют границы диапазонов масштабной инвариантности, а также выявляют свойство расширенной масштабной инвариантности.

Представляет интерес объединить эти два направления, рассматривая в комплексе все особенности структурных функций, как связанные с автомодельностью, так и циклические составляющие. Этой цели и посвящается настоящая статья.

**Структурные функции Колмогорова. Свойство автомодельности структурных функций**

Основы структурного анализа были заложены в работах академика А.Н. Колмогорова. В начале 1940-х годов он ввел в рассмотрение случайные процессы со стационарными приращениями [7]. Понятие процесса со стационарными приращениями является обобщением понятия стационарного процесса. Очевидно, что любой стационарный случайный процесс является одновременно и процессом со стационарными приращениями. Однако существуют и нестационарные процессы со стационарными приращениями. Простейшие примеры процессов со стационарными приращениями — это линейные функции:

$$y(x) = c_1x + c_0,$$

где  $c_0$  и  $c_1$  — постоянные.

В работах, посвященных исследованию турбулентности, в качестве основной статистической характеристики случайных процессов со стационарными приращениями Колмогоров предложил рассматривать второй момент, то есть математическое ожидание квадрата разности мгновенных значений скоростей, измеренных в соседних точках случайного поля скоростей [7, 8]:

$$S_y(\Delta x) = M \left[ (y(x_1) - y(x_2))^2 \right].$$

Медленные изменения скоростей будут мало сказываться на значениях их приращений:

$$\Delta y = y(x_1) - y(x_2).$$

При переходе от скоростей  $y(x)$  к разностям  $\Delta y(x)$  компоненты процесса с большими периодами подавляются, и приращения скоростей  $\Delta y$  оказываются стационарными, зависящими только от расстояния между точками  $\Delta x$ , в которых измеряются скорости. Случайную функцию  $y(x)$  называют случайной функцией со стационарными первыми приращениями.

Для процессов со стационарными вторыми приращениями случайная функция  $y(x)$  будет полиномом не выше второй степени [12]:

$$y(x) = c_2x^2 + c_1x + c_0.$$

Позднее для второго момента А.М. Обуховым был введен специальный термин структурная функция [10]. В результате структурные функции стали служить инструментом описания случайных процессов со стационарными приращениями.

Теория турбулентности А. Н. Колмогорова предсказывает степенной закон зависимости структурной функции

от масштаба, который по порядку величины не превосходит расстояние между двумя точками рассматриваемых полей. В результате возникает класс структурных функций, следующих степенному закону:

$$S(\tau) = A\tau^\gamma, \tag{1}$$

где  $A$  и  $\gamma$  — положительные параметры.

В таком случае график структурной функции в зависимости от величины приращения  $\tau$ , построенный в логарифмическом масштабе, спрямляется:

$$\ln(S) = \ln(A) + \gamma \cdot \ln(\tau).$$

Степенные законы обладают тем свойством, что для них существует группа преобразований подобия. Преобразования масштаба времени  $t \rightarrow t \cdot T$  и преобразование масштаба оси ординат  $y \rightarrow y \cdot Y$  оставляют структурную функцию  $S(\tau)$  неизменной:

$$\begin{aligned} S(\tau) &= M \left[ Y \cdot y(t \cdot T + \tau \cdot T) - Y \cdot y(t \cdot T) \right]^q = \\ &= Y^q \cdot M \left[ y(t \cdot T + \tau \cdot T) - y(t \cdot T) \right]^q = \\ &= Y^q \cdot S(\tau \cdot T) = Y^q \cdot A \cdot \tau^\gamma \cdot T^\gamma \end{aligned}$$

Масштабирование сигнала по оси абсцисс в  $T$  раз, а по оси ординат в  $Y = T^{-\frac{\gamma}{q}}$  раз не изменяет структурную функцию  $S(\tau)$ .

Функции, обладающие подобными свойствами, называются автомодельными. Автомодельность означает масштабную инвариантность (подобие). Это особенность степенных законов. Смысл масштабной инвариантности выражается в особой симметрии системы, которая состоит в том, что изменение масштабов одних переменных может быть скомпенсировано преобразованием масштабов других переменных в одинаковое число раз. Свойство масштабной инвариантности можно выразить в виде постоянства относительной скорости изменения структурной функции:

$$\frac{\Delta S}{S} : \frac{\Delta t}{t} = \gamma = const.$$

Однако, автомодельный рост не может быть безграничным. Интервал  $\tau$ , в пределах которого имеет место степенной закон изменения структурной функции, определяет ширину диапазона масштабной инвариантности. Автокорреляционная функция стационарного процесса, в отличие от структурной функции, не может быть автомодельной [10].

Дискретная трактовка структурной функции порядка  $q$  для временного ряда  $X_1, X_2, \dots, X_N$  приводит к выражению [13]:

$$S_q(\tau) = \frac{1}{N - \tau} \sum_{t=1}^{N-\tau} |(X_{t+\tau} - X_t)^q|,$$

где  $X_{t+\tau}$  и  $X_t$  — отсчеты сигнала  $X$  в моменты времени  $t + \tau$  и  $t$ ;  
 $N$  — количество отсчетов.

Структурная функция также важна для теории случайных процессов со стационарными приращениями, как и автокорреляционная функция для теории стационарных процессов. В случае эргодического стационарного процесса структурная и автокорреляционная функции оказываются взаимосвязаны, одна из них однозначно выражается через другую [12]. В результате для стационарного эргодического случайного процесса можно пользоваться как функцией автокорреляции, так

и структурной функцией. В целом же, структурные функции имеют более широкую применимость, чем корреляционные.

**Границы диапазонов масштабной инвариантности временных рядов чисел Вольфа**

Одним из широко используемых показателей солнечной активности являются числа Вольфа (Рисунок 1). Динамику чисел Вольфа можно рассматривать как случайный процесс со стационарными приращениями [5], поэтому правомерным становится применение для их анализа аппарата структурных функций.

Построим структурные функции чисел Вольфа. На Рисунке 2 показано поведение структурных функций раз-

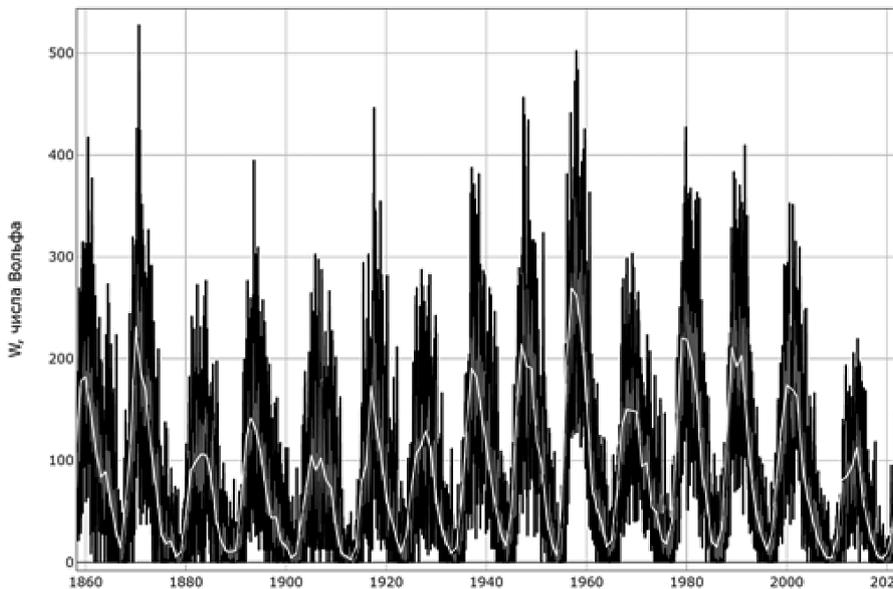


Рис. 1. Динамика чисел Вольфа: среднегодовые данные с 1700 г. по 2022 г.; среднемесячные данные с января 1749 г. по октябрь 2022 г.; ежедневные данные с 21 мая 1858 г. по 31 октября 2022 г.

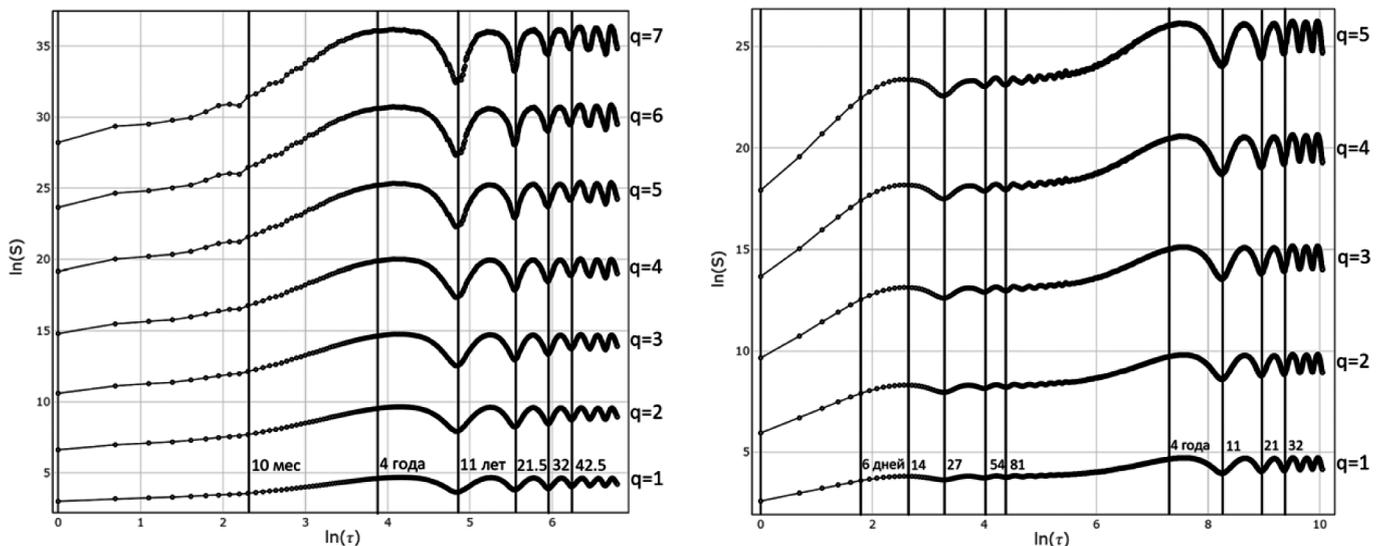


Рис. 2. Структурные функции: слева среднемесячные данные, справа ежедневные

личных порядков для среднемесячных и ежедневных данных, рассчитанных по формуле (2).

На графиках структурных функций среднемесячных данных Рисунка 2 выделяется граница диапазона инвариантности на малых масштабах, которая равняется 10 месяцам, на средних масштабах — около 4 лет.

Оценка длительностью 10 месяцев согласуется с результатами В.А. Перепелицы и Ф.Б. Тебуевой [11]. Авторы указанной работы применяют алгоритмы фрактального анализа, в частности, R/S-метод Херста. По их данным длительности циклических компонент, на которые разбивается фазовая траектория среднемесячных чисел Вольфа, колеблются от 4 до 10 месяцев [11]. Таким образом, десятимесячная граница диапазона масштабной инвариантности совпадает с одним из почти периодов, проявленных в динамике чисел Вольфа.

Согласно Рисунку 2, для ежедневных данных выделяется два интервала, где наблюдается степенной скейлинг структурных функций: на малых масштабах граница интервала соответствует 6 дням и на средних масштабах — 4 годам. Следующая за первой границей точка смены структуры приходится на 14 дней. Значения 6 и 14 дней были также получены в качестве периодических компонент ряда в работе С.С. Вениаминова [3]. Отметим также, что длительность 6 суток соответствует времени жизни средней группы пятен на Солнце, длительность 14 суток почти точно равняется времени жизни среднего факела на Солнце, а длительность 4 года соответствует средней длительности фазы роста количества пятен на Солнце для 11-летнего цикла [1].

#### Осциллирующие компоненты структурных функций. Определение скрытых периодичностей временных рядов чисел Вольфа

Структурные функции, построенные выше, содержат также колебательную составляющую (Рисунок 2). Для ежедневных данных положения минимумов приходятся на 27 дней, 54 дня, 81 день, 11 лет, 21 год, 32 года, 42 года. Следовательно, в ежедневной динамике чисел Вольфа присутствуют почти-периоды длительностью 27 дней и 11 лет.

При анализе плотности потока солнечного радиолучения на длине волны 10.7 см Вениаминов С.С. выделяет три наиболее стабильных периодических компоненты ряда, выраженные в сутках: 5.9–7.2, 14.1–16.3 и 26.8–28.3 [3]. Также 14-дневная и 27-дневная периодика получена в работе И.П. Безродных [2].

Аналогичные значения выявлены на структурных функциях для ежедневных данных на всех особенностях структурных функций, как на локальных минимумах, так на границах диапазонов масштабной инвариантности.

Для среднемесячных данных выделяются следующие положения минимумов: 10.7 лет, 21.5 год, 32 года, 42.5 года (Рисунок 2). Первые разности равняются: 10.8 лет, 10.5 лет, 10.5 лет. Следовательно, выявляется почти-период длительностью около 10.7 лет.

Структурные функции среднегодовых данных позволяют уверенно выделить только осциллирующие компоненты. Среди них: 11 лет, 22 года, 32 года, 43 года, 54 года (Рисунок 3). Первые разности — 10, 11 лет, что говорит о проявлении почти-периода около 11 лет.

Периодичности могут обнаружиться и там, где их на самом деле нет. Причиной псевдопериодичностей в случайных процессах может стать наличие в них автокорреляционных связей. Признаком реального присутствия почти-периодов в динамике солнечной активности является постоянное их проявление на различных интервалах исследуемых данных. Разбиения ряда на отдельные фрагменты и построение структурной функции для каждого из них показало, что характерные почти-периоды 27 дней и 11 лет проявляются все время наблюдения. 11-летний период еще называют циклом Швабе-Вольфа — это ярко выраженный цикл солнечной активности, который в среднем равен 11 годам. Выявляются также почти-периоды длительностью 10 и 12 лет. Это связано с тем, что цикл Швабе-Вольфа считается одиннадцатилетним условно, так как в XVIII–XX веках его длина менялась от 7 до 17 лет, а в XX веке в среднем была ближе к 10.5 годам. Одиннадцатилетней циклическостью обладают многие другие характеристики активных образований на Солнце: площадь пятен, частота и количество вспышек, количество протуберанцев [6]. Различными авторами 11-летний цикл был найден в ряде социальных показателей, например, в статистике уголовной преступности, в статистике психических заболеваний, включая суицидальное поведение, а также в частоте исследования военных конфликтов (индекс Уиллера). Выявлено близкое совпадение с фазой роста 11-летнего солнечного цикла важнейших эпохальных открытий в теоретической физике.

Независимое убедительное доказательство глобального характера влияния солнечной активности на медико-биологические явления появилось в 1930 году в связи с открытием А.Л. Чижевским 11-летней циклическости в динамике мировых эпидемий, в частности, холеры и гриппа.

Выявленный почти-период длительностью 27 дней, равный осевому вращению Солнца, проявляется во многих сферах деятельности. Например, российский врач М.В. Соколов и известный шведский ученый С. Аррениус нашли тенденцию к 27-дневной повторяемости в эпилептических припадках. Швейцарский врач К. Кинд-лиман обнаружил на многолетней статистике около

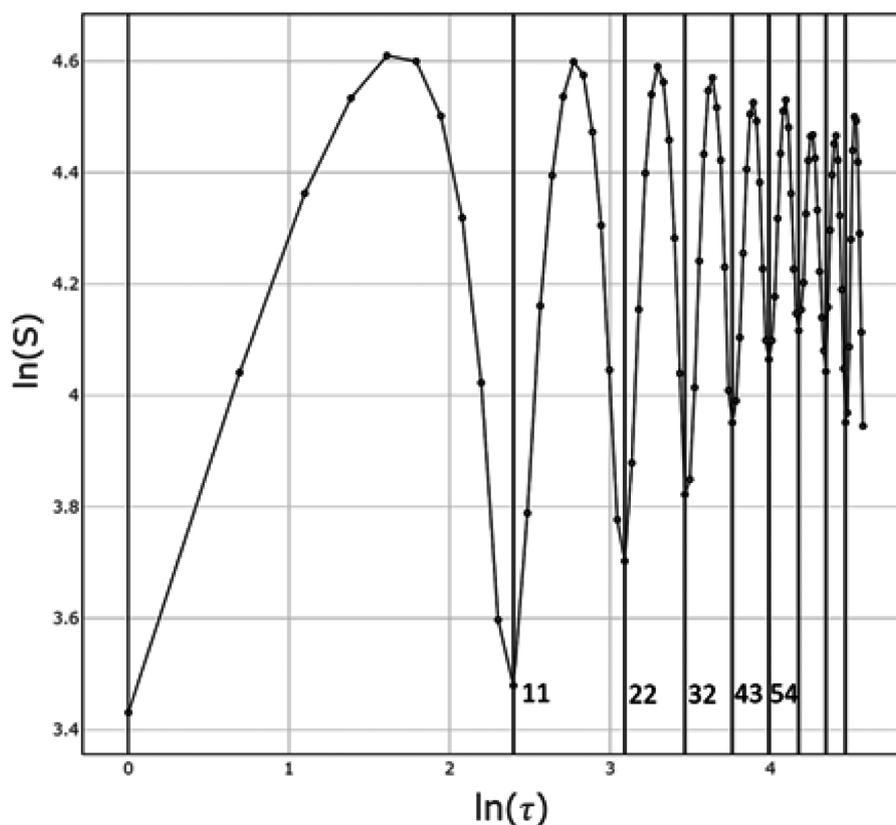


Рис. 3. Структурная функция первого порядка для среднегодовых данных

27-дневный период смертности от сердечно-сосудистых заболеваний: показатель смертности возрастает в дни, когда большие пятна пересекают центральный солнечный меридиан. Также им был отмечен и 11-летний цикл.

Угловая скорость Солнца убывает с удалением от экватора, именно поэтому период обращения Солнца на разных его поясах отличается, начиная с 26 дней, заканчивая 36 днями.

Одним из выдающихся открытий стало обнаружение совпадения дат революций в Европе с максимумами чисел Вольфа. Сообщение на эту тему первым опубликовал Д.О. Святский в 1917 году [4].

### Выводы

В структурных функциях чисел Вольфа выделяются два качественно различающихся диапазона. В первом диапазоне масштабной инвариантности зависимость структурной функции от масштаба следует степенному закону. Здесь реализуется свойство автомодельности.

Во втором диапазоне наблюдаются осциллирующие компоненты.

Положения границ масштабной инвариантности соответствуют 6 дням, 10 месяцам, 4 годам, смена восходящей и нисходящей фазы приходится на 14 дней. Полученные значения другими авторами устанавливаются как циклические характеристики солнечной активности.

Анализ колебательной составляющей структурных функций указывает на наличие в динамике солнечной активности почти-периодов длительностью 27 дней и 11 лет.

Границы автомодельности взаимосвязаны с почти-периодами.

Для выявления скрытых периодичностей значимыми оказываются все особенности структурных функций: границы диапазонов масштабной инвариантности, точки изменения фаз, максимумы и минимумы. Необходимо рассматривать эти особенности структурных функций в комплексе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аллен К.У. Астрофизические величины. — М.: МИР, 1977. — 272 с.
2. Безродных И.П. Динамика солнечной и геомагнитной активности. II Периодические вариации солнечной и геомагнитной активности. Вопросы электро-механики. / Безродных И.П., Морозова Е.И., Петрукович А.А., Кожухов М.В. // Труды ВНИИЭМ. 2019. Т. 171 № 4. С. 24–38.
3. Вениаминов С.С. Выявление скрытых структурных закономерностей в процессах и сигналах: от космических исследований до анализа трендов рынка. Науч. ред. Б.М. Шустов. Изд. 2-е, доп. — М.: ЛЕНАНД, 2017. — 216 с.
4. Владимирский Б.М. Космическая погода и биосфера: История исследований и современность. — М.: ЛЕНАНД, 2017. — 112 с.
5. Высоцкая А.А. Анализ случайных процессов со стационарными приращениями на примере чисел Вольфа // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. — 2023, № 5, с. 29–34.
6. Ишков В.Н. Солнечная активность /В.Н. Ишков, Э. В. Кононович // Вселенная и мы. 1993. №1. С. 22–27.
7. Колмогоров А.Н. Локальная структура турбулентности в несжимаемой вязкой жидкости при очень больших числа Рейнольдса. — ДАН СССР, 1941, т. 30, 299–303 с.
8. Колмогоров А.Н. Рассеяние энергии при локально изотропной турбулентности. — ДАН СССР, 1941, т.32, № 1, с. 19–21.
9. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. Часть 2. — М.: Наука, 1967. — 720 с.
10. Обухов А.М. Структура температурного поля в турбулентном потоке // Изв. АН СССР. Сер. геогр. и геофиз. 1949. Т. 13. № 1. С. 58–69.
11. Перепелица В.А., Тебуева Ф.Б. Методы нелинейной динамики в предпрогножном анализе эволюции солнечной активности // Фундаментальные исследования. — 2006, № 12. — С. 103–104.
12. Рытов С.М. Введение в статистическую радиофизику. Часть 1. Случайные процессы. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1976. — 484 с.
13. Сычёв В.Н. Оценка масштабов дальних корреляций по сигналам сейсмоакустической эмиссии приповерхностных осадочных пород на камчатке / Сычёв В.Н., Мищенко М.А., Имашев С.А., Чешев М.Е. // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2019. Т. 29. № 4. С. 190–200.

---

© Высоцкая Анна Аркадьевна (anVysa@mail.ru); Пронина Елена Николаевна (pvi173@rambler.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF MODELING METHODS AGAINST INFORMATION SECURITY THREATS

**O. Karelova  
E. Alyushina**

*Summary.* The article provides a comparative analysis of modeling methods against information security threats in organization. The graphic methods for visualizing potential information security threat scenarios are overviewed (Petri nets and attack trees), as well as the FSTEC methodology for threat modeling.

*Keywords:* threats; modeling methods; information security; threats to information security.

**Карелова Оксана Леонидовна**

Доктор физико-математических наук, доцент,  
профессор, Московский Государственный  
Лингвистический Университет;

Профессор, Российская академия народного хозяйства  
и государственной службы при Президенте РФ (Москва)  
okarelova@yandex.ru

**Алюшина Екатерина Романовна**

Московский государственный лингвистический  
университет  
alusinaekaterina@gmail.com

*Аннотация.* В статье проводится сравнительный анализ методов моделирования угроз информационной безопасности организации. Рассмотрены графические методы представления сценариев угроз безопасности информации (сети Петри и деревья атак), а также методика ФСТЭК построения модели угроз.

*Ключевые слова:* угрозы, методы моделирования, информационная безопасность, угрозы информационной безопасности.

Обеспечение высокого уровня информационной безопасности является одним из требований реализации деятельности любой организации. Для определения актуальных угроз, соответствующих информационным ресурсам организации, необходимо создание модели угроз информационных ресурсов организации.

Модель угроз (безопасности информации) представляет собой физическое, математическое, описательное представление свойств или характеристик угроз безопасности информации [1]. Угроза безопасности информации представляет собой совокупность условий и факторов, создающих потенциальную или реально существующую опасность нарушения безопасности информации [2]. Таким образом, модель угроз представляет собой документ, назначение которого — определить угрозы, актуальные для исследуемой системы.

Содержимое модели угроз описано новой методикой оценки Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК), выпущенной 5 февраля 2021, которая сменила устаревшую базовую модель угроз 2008 года. Новая методика диктует следующие требования к содержанию модели [3]:

- определить негативные последствия, которые могут возникнуть в случае реализации угроз безопасности информации;
- провести инвентаризацию систем и сетей и определить возможные объекты воздействия угроз безопасности информации;

- определить источники угроз безопасности информации и оценить возможности нарушителей по реализации угроз безопасности информации;
- оценить способы реализации угроз безопасности информации, вероятных для исследуемой системы;
- оценить возможности реализации угроз и определить актуальность угроз;
- оценить вероятные сценарии атак в системах и сетях.

Ключом к моделированию угроз безопасности информации является определение слабых точек и уязвимостей, где следует прилагать наибольшие усилия для обеспечения безопасности системы. Однако, данные параметры изменяются по мере добавления новых элементов в информационные системы, их удаления или модернизации, а также изменения, связанные с пользовательскими требованиями, законодательными актами или с требованиями регуляторов в области информационной безопасности.

В данной работе рассмотрены наиболее эффективные, с точки зрения авторов, методы графического представления сценариев реализации угроз безопасности информации — сети Петри и деревья атак.

Сети Петри являются простым и удобным средством для моделирования разнообразных распределенных систем и процессов.

Сеть Петри представляет собой двудольный ориентированный граф, содержащий вершины двух типов — места и переходы. Последовательности событий отображаются срабатываниями переходов. Соглашения о правилах срабатывания переходов является способом выражения причинно-следственных связей между условиями и событиями в системе. Последовательность событий образует моделируемый процесс. Данный метод позволяет дать количественную оценку информационной безопасности корпоративной системы [4].

Деревья атак представляют собой описание вариантов проведения атаки для достижения некоторой цели, которая ставится во главу дерева атаки (является его вершиной). Для каждой информационной системы может быть определено достаточно большое количество угроз, для каждой из которых строится своё собственное дерево атак. Каждый узел в дереве атак представляет собой некоторую подцель, достижение которой, в случае выполнения ряда условий, позволяет злоумышленнику подняться по дереву на более высокий уровень и так до тех пор, пока злоумышленник не достигнет вершины дерева. В последнем случае считается, что злоумышленник успешно реализовал атаку.

Основная цель деревьев атак — моделирование угроз безопасности, рассмотрение возможных атак на систему и анализ векторов атак. Деревья атак также успешно используются в анализе рисков информационной безопасности, в процессах анализа и проектирования систем безопасности и защиты информации.

Применение деревьев атак позволяет несколько упростить задачу аналитиков при исследовании проблемы безопасности и защищённости информационной системы. Деревья атак обладают высокой наглядностью и позволяют хорошо структурировать всевозможные варианты потенциальных проблем для каждого из активов.

Для каждого актива следует построить его дерево атак, в котором попытаться перечислить все возможные пути осуществления атак на этот актив. Актив (или, скорее, его свойство безопасности — конфиденциальность, целостность, доступность, аутентичность и т.д.) ставятся во главу дерева, в самом дереве перечисляются пути и, по возможности, средства компрометации (нарушения) этого свойства безопасности [5].

Представим сравнение методов моделирования угроз информационной безопасности информационных систем организации в виде таблицы, отметив преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов в Таблицах. (таблица 1, 2, 3)

Таблица 1.

Достоинства и недостатки Методики оценки угроз безопасности информации ФСТЭК для моделирования угроз информационной безопасности

Достоинства	Недостатки
Переход на сценарный подход моделирования угроз ИБ	Отсутствие инструментальной поддержки.
	Методика оторвана от БДУ. ФСТЭК, что требует ручного анализа актуальных угроз
Оценка угроз экспертной группой, а не отдельным специалистом	Отсутствие частной модели угроз, только наличие отдельных примеров, а также структуры документа модели угроз ИБ
Основой для моделирования угроз являются негативные последствия, необходимость защиты от наступления которых определена заинтересованными лицами. Это упрощает проблему убеждения бизнеса в необходимости обеспечения безопасности и снижает требования к специалисту	Приложение 11 ФСТЭК посвящено основным тактикам и соответствующим им типовым техникам, используемым для построения сценариев реализации угроз безопасности информации, однако со временем список станет невозможно расширить, так как его расширение требует создания новой Методики.
Оценивается только возможность реализации угрозы — экспертам не требуется оценивать, с какой вероятностью нарушитель способен реализовать угрозу	Модель не учитывает применение мер по защите, используя составленную модель оценки угроз безопасности информации, останавливается на создании сценариев

Таблица 2.

Достоинства и недостатки Деревьев атак для моделирования угроз информационной безопасности

Достоинства	Недостатки
Гибкость	Проблема полного охвата проблемы безопасности
Удобство представления контрмер	Проблема глубины обзора каждого варианта атаки
Наглядность	Проблема оценки значимости вариантов атак
Легкость дальнейшей формализации и алгоритмизации и наличие инструментальной поддержки для этого	Отсутствие возможности динамического моделирования
Дедуктивный характер выявления причинно-следственных связей исследуемых явлений	Трудность моделирования циклических атак
Доступность для статистического моделирования и количественной оценки изучаемых явлений, процессов и их свойств	

Таблица 3.

Достоинства и недостатки Сетей Петри для моделирования угроз информационной безопасности

Достоинства	Недостатки
Мощное средство моделирования асинхронных, параллельных распределенных и недетерминированных процессов	Отсутствие информации о причинно-следственных связях между событиями в системе
Возможность отображения на одной модели взаимодействия нескольких параллельно — последовательных процессов системы	Затруднения, связанные с моделированием обширных систем
Свойство иерархического вложения сетей Петри	Неспособность в явном виде описывать поведение нарушителя и атакуемого объекта
Возможность использования таких параметров, как время, приоритет переходов, цвет	Отсутствие качественных бесплатных программно-инструментальных средств для моделирования систем средствами сетей Петри
Удобство использования для анализа различных аспектов безопасности компьютерной сети	Анализ не предоставляет количественных характеристик, определяющих состояние системы
	Чрезвычайно сложно отразить преобразование информации при срабатывании переходов сети Петри

Таблица 4.

Сравнение методов моделирования угроз информационной безопасности

Методика оценки угроз безопасности информации ФСТЭК	Деревья атак	Сети Петри
Возможность графической реализации		
	+	+
Возможность инструментальной поддержки		
	+	+
Возможность включения в модель контрмер		
	+	
Наличие информации о причинно-следственных связях между событиями		
+	+	

Методика оценки угроз безопасности информации ФСТЭК	Деревья атак	Сети Петри
Масштабируемость		
	+	
Способность описывать поведение нарушителя и атакуемого объекта		
+	+	
Возможность статического моделирования		
+	+	
Возможность динамического моделирования		
		+

Ввиду наличия определенных особенностей у каждого из рассмотренных методов, для моделирования угроз информационной безопасности организации более универсальным методом будет являться построение деревьев атак для визуализации как конкретных атак, так и возможных уязвимостей, использование которых может являться подцелью атакующего наравне с возможностью установления причинно-следственных связей и количественной оценки изучаемых явлений. Также сценарный подход к моделированию угроз, представленный в методике ФСТЭК, позволяет одновременно решить сразу несколько задач обеспечения информационной безопасности: охватить максимально возможный спектр угроз, актуальных для данной информационной системы; разработать детальные требования к мерам безопасности, препятствующим каждому возможному действию нарушителя; определить индикаторы компрометации, которые позволят обнаружить применение сценария реализации угрозы; заблаговременно разработать меры оперативного реагирования на каждый сценарий; в ходе реагирования на атаку — прогнозировать возможные следующие действия нарушителя и оперативно противодействовать им. Таким образом применение деревьев атак и методики ФСТЭК является одним из лучших вариантов моделирования угроз информационной безопасности организации.

Важно отметить, что без моделирования угроз и нарушителя может быть построена избыточная система защиты, защищающая от многочисленных угроз, реализация которых невозможна в данной организации, либо неэффективная система защиты, не охватывающая все актуальные угрозы.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 53114-2008 «Защита информации. Обеспечение информационной безопасности в организации. Основные термины и определения» от 01.10.2009 // Национальный стандарт Российской Федерации
2. ГОСТ Р 50922-2006 «Защита информации. Основные термины и определения» от 01.02.2008 // Национальный стандарт Российской Федерации
3. Методический документ. Утвержден ФСТЭК России 5 февраля 2021 г. «Методика оценки угроз безопасности информации». [Электронный ресурс] — URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/metodicheskij-dokument-ot-5-fevralya-2021-g> (дата обращения: 16.05.2023).
4. Проститенко, О.В. Моделирование дискретных систем на основе сетей Петри: учебное пособие / О.В. Проститенко, В.И. Халимон, А.Ю. Рогов. — СПб.: СПбГИ(ТУ), 2017 — 69 с.
5. Д.И. Котенко, И.В. Котенко, И.Б. Саенко, Методы и средства моделирования атак в больших компьютерных сетях: состояние проблемы, Тр. СПИИРАН, 2012, выпуск 22, 5–30.
6. R-Vision SGRC // R-Vision [Электронный ресурс]. — URL: <https://rvision.ru/products/sgrc> (дата обращения: 16.05.2023).
7. Kaspersky Security CAD // Лаборатория Касперского [Электронный ресурс]. — URL: <https://scad.kaspersky.com/> (дата обращения: 16.05.2023).

---

© Карелова Оксана Леонидовна (okarelova@yandex.ru); Алюшина Екатерина Романовна (alulinaekaterina@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗАТОР-ТОМОГРАФ ДЕФЕКТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ СРЕДСТВАМИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

## COMPUTER ANALYZER-TOMOGRAPH OF DEFECTS FOR EXAMINATION OF INDUSTRIAL SAFETY OF HAZARDOUS PRODUCTION FACILITIES BY MEANS OF ULTRASONIC FLAW DETECTION

*Yu. Kozlov*

*Summary.* A computer Analyzer-Tomograph of Defects for ultrasonic flaw detection of hazardous production facilities is considered on the example of control of metallurgical and refining production facilities and cryogenic equipment. Concepts/ideas of development of automation of ultrasonic flaw detection are described.

The computer Analyzer-Tomograph of Defects is designed for defect calculations, basic configuration of flaw detectors, calculations of artificial reflectors, for the formation of correction tables for instant reconfiguration of flaw detectors, computer visualization of defects, remote execution of the above services, and other information and computing functions.

The main distinctive advantages of a Computer Defect Analyzer are:

1. Visualization of all computer calculations of defect parameters, visualization of all calculations for setting up flaw detectors. This completely eliminates errors related to the human factor, which often occur when performing complex calculation operations manually, which is extremely important, especially when conducting an examination of hazardous production facilities.

2. Automation of defect calculations, analysis and evaluation of defects greatly increases productivity, reliability, quality of control and, very importantly, the visibility of all work: instrument settings, defect calculations and their evaluation. Minimizes control errors.

Makes it possible to use remote control methods in the field of non-destructive testing and industrial safety expertise,

Automation / computerization in flaw detection takes over the main functions of work management, significantly increases their productivity and reliability, systematizes and accumulates data [3], forms knowledge bases and solutions, allows creating new interfaces of interactive interaction between the flaw detector operator and the computer, promotes the transition to work management by Artificial Intelligence, robotics and, ultimately, the release of a person from dangerous, harmful, routine production.

*Keywords:* Computer Analyzer of Defects, Computer Analyzer-Tomograph of Defects, automation of non-destructive testing, Artificial Intelligence in flaw detection, Artificial Intelligence in non-destructive testing, Artificial Intelligence in industrial safety expertise.

**Козлов Юрий Николаевич**

*Инженер-дефектоскопист, эксперт промышленной безопасности, программист-разработчик,*

*Microsoft Certified Solution Developer*

*Сибирский Государственный Аэрокосмический*

*Университет, г. Красноярск;*

*Научный центр аэрокосмических технологий*

*двойного назначения НЦ «СПЕКТР», г. Москва*

*lab\_uzd@mail.ru*

*Аннотация.* Рассмотрен Компьютерный Анализатор-Томограф Дефектов для ультразвуковой дефектоскопии опасных производственных объектов на примере контроля объектов металлургических и аффинажных производств и криогенной техники. Описаны концепции/идеи развития автоматизации ультразвуковой дефектоскопии.

Компьютерный Анализатор-Томограф Дефектов предназначен для расчетов дефектов, базовой настройки дефектоскопов, расчетов искусственных отражателей, для формирования корректировочных таблиц для моментальной перенастройки дефектоскопов, компьютерной визуализации дефектов, дистанционного выполнения вышеуказанных сервисов и др. информационных-вычислительных функций.

Главными отличительными преимуществами Компьютерного Анализатора Дефектов являются:

1. Визуализация всех компьютерных расчетов параметров дефектов, визуализация всех расчетов по настройке дефектоскопов. Что полностью исключает ошибки, связанные с человеческим фактором, которые часто возникают при выполнении сложных расчетных операций вручную, что исключительно важно, особенно при проведении экспертизы опасных производственных объектов.

2. Автоматизация расчетов дефектов, анализа и оценки дефектов многократно повышает производительность, надежность, качество контроля и, что очень важно, наглядность всех работ: настройки приборов, расчетов дефектов и их оценки. Минимизирует ошибки контроля.

Делает возможным использование дистанционных методов управления в области неразрушающего контроля и экспертизы промышленной безопасности,

3. Автоматизация / компьютеризация в дефектоскопии берет на себя главные функции управления работами, значительно повышает их производительность и надежность, систематизирует и накапливает данные [3], формирует базы знаний и решений, позволяет создавать новые интерфейсы интерактивного взаимодействия между оператором-дефектоскопистом и ЭВМ, способствует переходу к управлению работами Искусственным Интеллектом, роботизации и, в конечном счете, высвобождению человека из опасных, вредных, рутинных производств.

*Ключевые слова:* Компьютерный Анализатор Дефектов, Компьютерный Анализатор-Томограф Дефектов, автоматизация неразрушающего контроля, Искусственный Интеллект в дефектоскопии, Искусственный Интеллект в неразрушающем контроле, Искусственный Интеллект в экспертизе промышленной безопасности.

## Введение

Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах определены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору в приказе N 490 от 21 ноября 2016 года Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля технических устройств, зданий и сооружений на опасных производственных объектах» [1]

Цель настоящего исследования — комплексная, многоплановая — найти прорывные, автоматизированные (компьютерные) решения повышенной надежности, максимально многофункциональные, позволяющие решать сразу комплекс научных задач, а именно: 1) автоматизировать расчеты по настройке дефектоскопов, расчеты дефектов, их анализ и оценку; 2) обеспечить простой наглядный, надежный, легко понятный визуальный контроль алгоритма настройки дефектоскопов и расчетов дефектов, их анализ и оценку; 3) найти решение по визуализации дефектов внутри объекта контроля; 4) разработать интерфейс для дистанционного доступа к функциям компьютерного анализатора; 5) создать предпосылки для создания межотраслевого информационно-вычислительного центра; 6) создать предпосылки для создания базовых функций Искусственного Интеллекта в области неразрушающего контроля; 7) создать базу (основу) универсальной межотраслевой виртуальной лаборатории информационно-вычислительных услуг; 8) автоматизировать расчеты по проектированию эталонов (образцов) качества для ультразвукового контроля для всех отраслей промышленности, зданий и сооружений [4][5]; 9) разработать технологию их изготовления; 10) организовать оперативную реализацию эталонов (образцов) качества для УЗК, используемых в области неразрушающего контроля и экспертизы промышленной безопасности.

Если бы эти решения (информационно-вычислительные сервисы и эталоны качества) были в свое время доступны и применены в работе Нурекской ГЭС, Саяно-Шушенской ГЭС, то с высокой вероятностью можно утверждать, что катастрофы, возможно, можно было избежать!

Все цели исследования, в основном, были достигнуты и реализованы в виде четырех запатентованных решений (описания ниже). Задача исследования была поставлена архиважная, имеющая высочайшее государственное значение. На опыты, исследования, автоматизацию (компьютеризацию), поиск новых надежных решений (моделей и изобретений) в области ультразвукового контроля, их отладку и тестирование ушло более 10 лет.

Функции, методы, технологии, описанных решений были использованы в течении 15 лет, в основном, на промышленных объектах Красноярского края, в том числе Красноярском Алюминиевом Заводе, Красноярском Металлургическом заводе, ПО «Химволокно», Красноярском заводе синтетического каучука, Красноярском шинном заводе, заводе «СибТяжМаш», Сибирском Аэрокосмическом Университете, Научном Центре «Спектр», ПО «КрасТяжМаш», заводе «Сибсталь», объектах «НорильТорга», Красноярской, Ачинской, Канской, Казачинской нефтебазах, судах Российского Речного Регистра в Красноярском крае, др. предприятиях.

**Компьютерный Анализатор-Томограф Дефектов** предназначен для расчета площадей дефектов, настройки приборов для ультразвукового контроля, визуального анализа, контроля внутреннего состояния контролируемых объектов, с отображением дефектов внутри объектов контроля.

Главными отличительными преимуществами Компьютерного Анализатора-Томографа дефектов являются:

1. Геометрическая интерпретация всех компьютерных расчетов параметров дефектов, что впервые (!) предоставляет возможность оператору визуально контролировать сами расчеты, т.е. расчет перестает быть черным ящиком, что позволяет: — значительно сократить количество ошибок на стадии ввода оператором входных данных и на стадии управления работой программы;

— проконтролировать ход расчета и «обоснованность» выходных данных;

— выявить случайные «алгоритмические» сбои в работе программы (что случается весьма редко, является очень сложно, но всегда приводит к самым непредвиденным последствиям);

— алгоритм расчета визуализирован в виде графической динамической мультипликации, что наглядно показывает ход расчетов, диапазоны используемых величин, позволяет визуально контролировать процессы ввода, обработки и получения результатов вычислений, что значительно сокращает количество ошибок по сравнению с расчетом, выполненным вручную, и придает уверенности оператору-дефектоскописту;

2. Трехмерная визуализация контролируемых объектов с пространственным изображением дефектов внутри объектов. Это позволяет, при виртуальных перемещениях и вращениях контролируемых объектов, выявить возможные критические векторы разрушения объекта и судить о критической ориентации дефектов.

3. Существенное облегчение расчетов параметров дефектов.

Производство расчетов дефектов возможно в двух режимах.

- первый режим: расчет одиночного дефекта;
- второй режим: групповой расчет (в режиме пакетной обработки данных) всех дефектов объекта контроля или участков контроля;

4. Создание предпосылок для организации отраслевой виртуальной лаборатории неразрушающего контроля и информационно-вычислительных услуг

5. Создание предпосылок для создания системы Искусственного Интеллекта в области неразрушающего контроля

6. Автоматизация расчетов размеров/площади дефектов, оценки дефектов значительно повышает производительность, надежность, качество контроля и, что очень важно, наглядность всех работ: настройки приборов, расчетов дефектов и их оценки, минимизирует ошибки контроля и делает возможным использование дистанционных методов управления в области неразрушающего контроля и экспертизы промышленной безопасности.

7. Автоматизация и визуализация расчетов дефектов и их оценки с динамической визуализацией алгоритма процесса настройки дефектоскопов и визуализация дефектов в объекте контроля делают расчетные операции быстрыми, наглядными, надежными, визуальными контролируемые и полностью исключают ошибки, связанные с человеческим фактором, которые часто возникают при выполнении сложных расчетных операций вручную, что исключительно важно, особенно при проведении экспертизы опасных производственных объектов. Автоматизация / компьютеризация в дефектоскопии берет на себя главные функции управления работами, повышает их производительность и надежность, систематизирует и накапливает данные [3], формирует базы знаний и решений, позволяет создавать новые интерфейсы интерактивного взаимодействия между оператором-дефектоскопистом и ЭВМ, способствует переходу к управлению работами Искусственным Интеллектом, роботизации и, в конечном счете, высвобождению человека из опасных, вредных, рутинных производств.

8. Создание условий, базовой платформы, высокопроизводительной масштабируемой компьютерной системы для дистанционного доступа к высокоинтеллектуальным информационно-вычислительным функциям в области неразрушающего контроля для малых (мелких), локальных, мобильных лабораторий, служб, дефектоскопистов, эксплуатанционщиков, сварщиков и т.д. с целью обеспечения возможности проведения ультразвукового контроля и недопущения таких катастроф, как, например, которые произошли на Нурекской

ГЭС 9 июля 1983 года, Саяно-Шушенской ГЭС 17 августа 2009 г., когда просто не было оперативной возможности обеспечить выполнение сложного глубинного ультразвукового контроля металла (контроля больших толщин металла) — оценку дефектов, расположенных на больших глубинах — в шпильках крепления крышек турбин гидроэлектростанций. Своих возможностей, по всей видимости, у ГЭС не было, а сторонние были малоизвестны из-за отсутствия, на тот момент, низкого информационного обеспечения в области ультразвукового контроля.

Представленные методы настройки приборов, расчета, анализа, оценки и визуализации дефектов, реализованные в виде Компьютерного Анализатора-Томографа Дефектов (патент №2004611317), можно использовать для контроля объектов в металлургической и аффинажной промышленности, объектов холодильной и криогенной техники, например, при контроле скиповых подъемников доменных печей, цапф ковшей, траверс, тяг чугуновозов, слитковозов металлургических ковшей, стенок ковшей, крюков, удлинителей, элементов крюковых подвесов, валов, роторов компрессоров и т.д.

Помимо расчета и анализа каждого выявленного одиночного дефекта, разработан метод групповой обработки дефектов: их расчетов и анализов, с визуализацией дефектов внутри объекта контроля (цифровой томограф на основе Компьютерного Анализатора Дефектов).

Групповая обработка данных осуществляется за счет группового формирования параметров дефектов, занесенных в специализированные файлы в заданном формате, подготовленные для компьютерной обработки с последующим компьютерным расчетом дефектов, анализом их допустимости и визуализацией общей картины внутреннего состояния объекта для визуального контроля.

Компьютерная визуализация внутреннего состояния объекта контроля, с возможностью его виртуального вращения/перемещения на экране монитора в любых направлениях, и анализа геометрии расположения дефектов внутри объекта контроля, с целью выявления критических ориентаций дефектов (с учетом их взаимного расположения и с учетом влияния их расположения на элементы и состояния конструкции объекта контроля) позволяют обнаружить потенциально опасные сечения/зоны/состояния объектов контроля и своевременно не допустить их в эксплуатацию, тем самым предотвратив аварию или катастрофу на опасном производственном объекте.

Автоматизация расчетов, анализа и оценки дефектов (Компьютерный Анализатор Дефектов с функцией цифровой томографии) позволит создать виртуальную (дистанционную) информационно-вычислительную ла-

**Панель пакетной (групповой) обработки входных параметров дефектов нескольких объектов контроля**

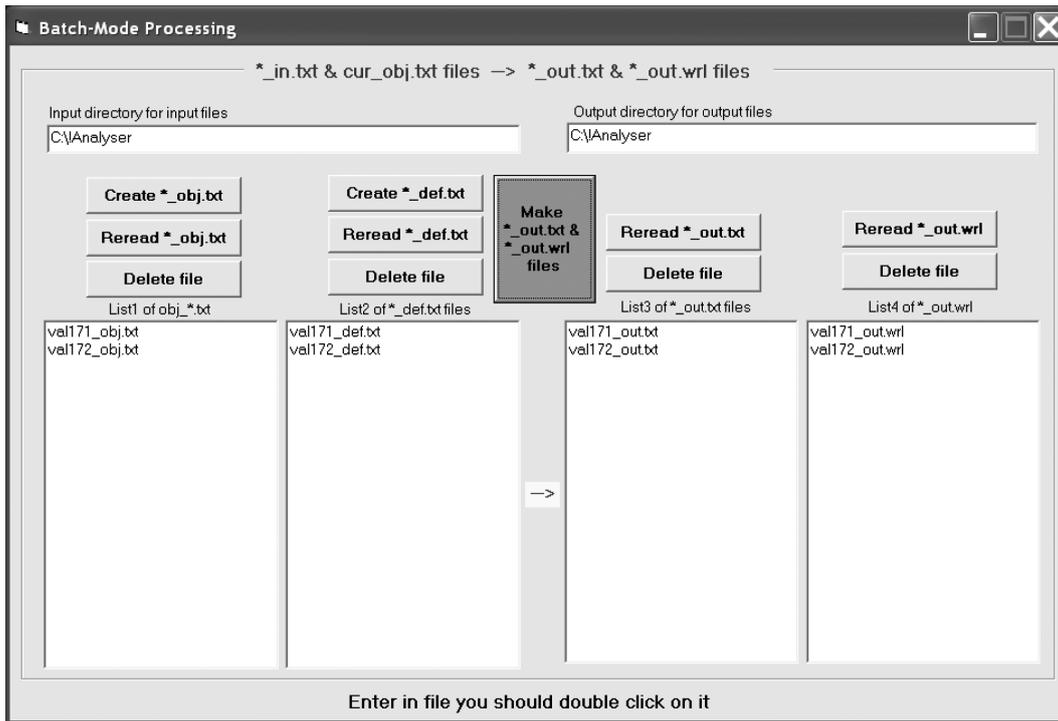


Рис. 1. Пример командной формы пакетной обработки входных данных по нескольким объектам контроля

бораторию/центр, оказывающий информационно-вычислительные услуги всем желающим лабораториям, конструкторам, эксплуатанционщикам, дефектоскопистам, сварщикам, которые захотят воспользоваться вышеописанными аналитическими услугами. Совместно может быть создана база данных технических состояний/анализов объектов, описанных, с целью унификации, на едином аналитико-алгоритмическом языке, в едином унифицированном цифровом формате для последующей экспертно-аналитической оценки состояний объектов в динамике, расчета остаточного ресурса и выработки общих рекомендаций по эксплуатации объектов [3]. В последующем накопленная информационно-вычислительная база технической информации по объектам контроля будет трансформирована в систему контроля, анализа и оценки объектов под управлением Искусственного Интеллекта (ИИ) в области дефектоскопии, разрушающего и неразрушающего контроля, технической диагностики и экспертизы промышленной безопасности.

Переходим к описанию 1) функций пакетной (групповой) автоматизированной обработки дефектов сразу нескольких объектов контроля; 2) функций моментальной перенастройки дефектоскопа модуля/блока Цифрового Консультанта Компьютерного Анализатора Дефектов; 3) описанию работы визуализатора дефектов (цифрового томографа) Компьютерного Анализатора Дефектов.

(Другие функции Компьютерного Анализатора-Томографа Дефектов будут рассмотрены в следующих статьях)

**Файл с описанием дефектов по одному объекту контроля**

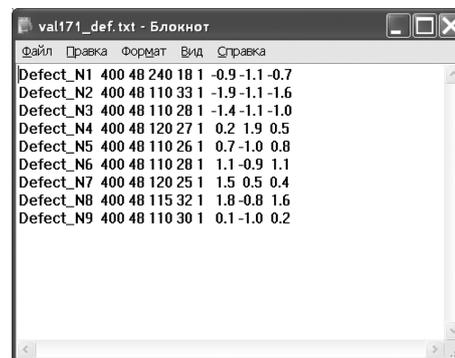


Рис. 2. Пример описания входных данных дефектов по одному объекту контроля. Количество файлов с входными данными объектов контроля не ограничено

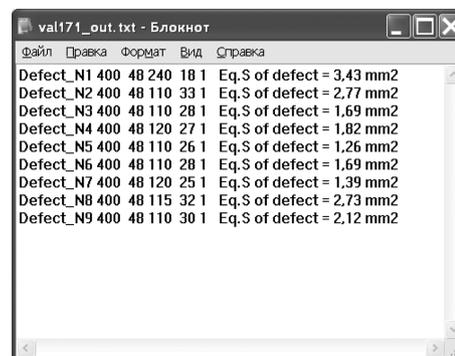


Рис. 3. Пример результатов группового расчета дефектов по одному объекту контроля

**Визуализация контроля с помощью КАД  
на примере цапф ковшей**



Рис. 4. Metallurgical разливающий ковш

Фрагменты объемных изображений показаны на примере анализа внутреннего состояния **цапф металлургических ковшей** (рис.4) — объектов типа валов.

На рисунках 5–10 приведены фрагменты вращения объекта контроля — цапфы, с расположенными внутри него дефектами. Объект контроля можно перемещать и вращать в любых направлениях. А также масштабировать модель, «входить» внутрь объекта, изменять цвета, скрывать части объекта, накладывая координатную сетку, менять подсветку, анализировать параметры и расположение дефектов и т.д.

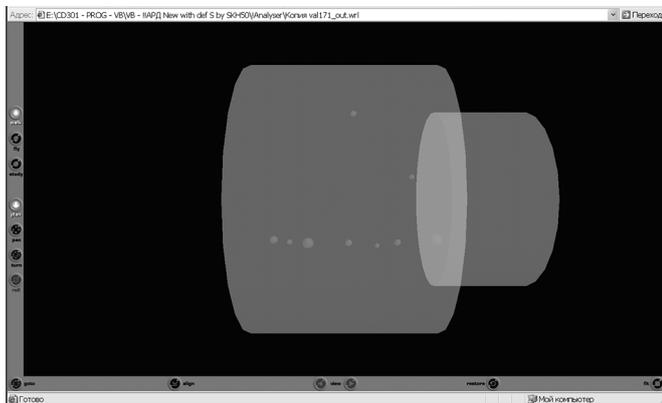


Рис. 5. Объект контроля. Фрагмент первый

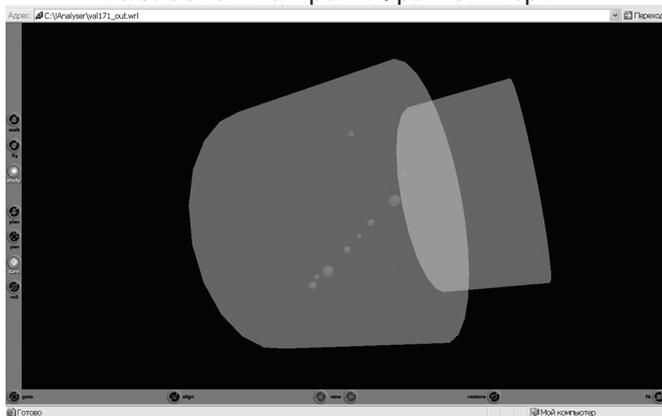


Рис. 6. Объект контроля. Фрагмент второй

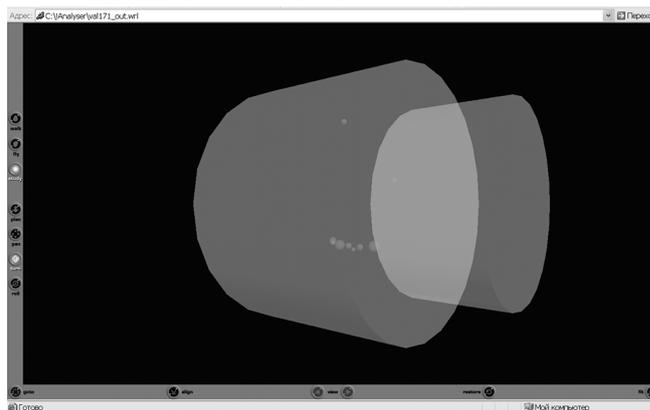


Рис. 7. Объект контроля. Фрагмент третий

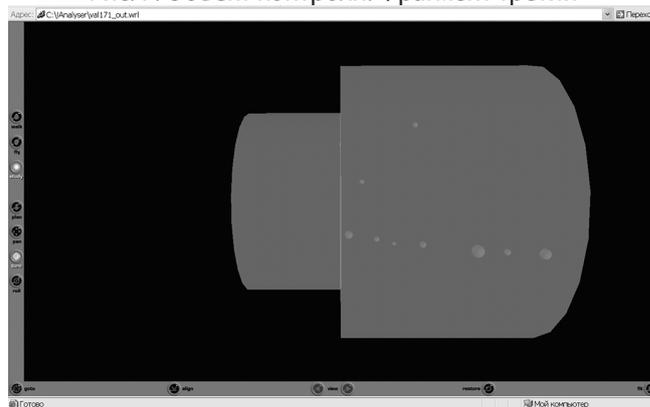


Рис. 8. Объект контроля. Фрагмент четвертый

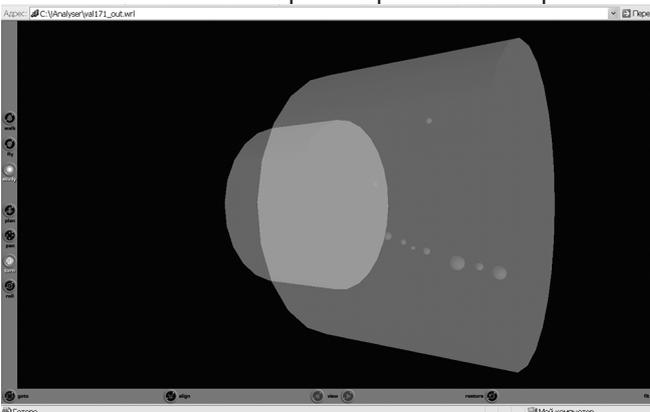


Рис. 9. Объект контроля. Фрагмент пятый

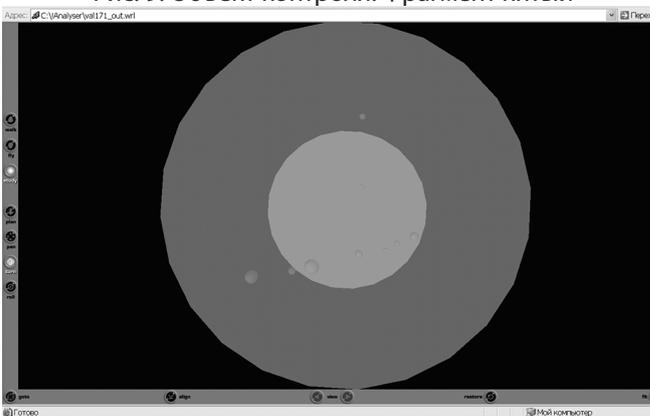


Рис. 10. Объект контроля. Фрагмент шестой

### Анализ возможности применения КАД / CDA для объектов контроля типа валов компрессоров

На рисунке 11 приведен фрагмент вращения объекта контроля — вала компрессора, с визуализацией обнаруженных внутри него дефектов. Объект контроля можно перемещать и вращать в любых направлениях. А также масштабировать модель, входить внутрь объекта, менять цвета, скрывать мешающие для просмотра части объекта, анализировать состояние объекта для возможного последующего дополнительного расчета и оценки прочностного состояния объекта контроля в случае обнаружения критических сечений / областей в объекте контроля.

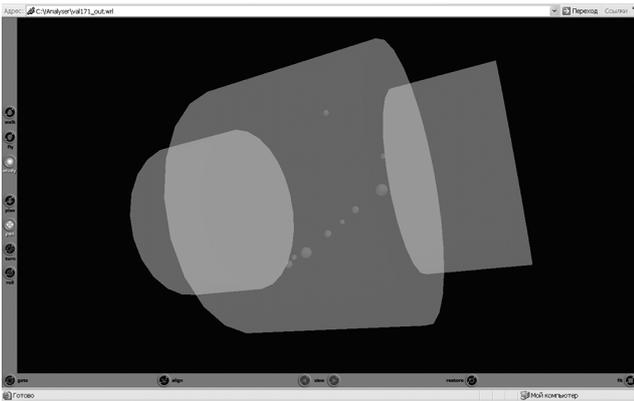


Рис. 11. Вал компрессора с расположенными внутри дефектами

### Электронный Консультант Инженера-Дефектоскописта (EDEC Module)

Блок ЭКИД/EDEC Module — один из главных блоков Компьютерного Анализатора Дефектов / Computer Defect Analyser — главной компоненты Дистанционной Виртуальной Лаборатории (ДВЛ/RVL) платформы Искусственного Интеллекта (ИИ) / Artificial Intelligence (AI) в области неразрушающего контроля и экспертизы промышленной безопасности.

Таблица для моментальной перенастройки дефектоскопа. Рассчитана Компьютерным Анализатором Дефектов (КАД/CDA) и рекомендована Системным Аналитиком Технологических Процессов Искусственного Интеллекта (САТП ИИ/AI TPSA) как важный инструмент надежности и производительности работ, выполняемых дефектоскопистами.

Computer Defect Analyser <Scientific Center SPECTR> Author Kozlov Yuri (C) 2022

## Visual Feedback Control

Adjustment Of The Device Under SKH-Diagram | Program Defect Analyser Under AHS-Diagram | General HELP

Электронный справочник-калькулятор дефектоскописта

3.141592 → 0.6 S1 (mm2) → S2 (mm2) = ... Db 14.38 ("отжать...")

5 \* 1.4 → 7 S1 \* K = ... Db -2.92 ("нажать...")

Make CorTable for S1... → S2...

Reference data  
 $dN = 20 * \text{Log}(S1/S2)$   
 -1dB (нажать) →  $\varphi^0,891$  мм:  $\varphi^1,122$  мм: -12,2%  
 +1dB (отжать) →  $\varphi^0,891$  мм:  $\varphi^1,122$  мм: +12,2%  
 B=30 A=40  
 B=40 A=50  
 B=50 A=65 from 12 mm to 40 mm  
 B=53 A=70 ... to 10 mm

Перевод площади зарубки в эквивалентно площадь и обратно (※※※)  
 H,мм= 4 GS,мм= 10 x =  $(GS * (H / \sin(90-A))) / \text{tg}A$  = 7,896  
 Подобрать глубину сверления под заданную глубину отражателя при расстоянии от крошки x = (например, 7.50) = 11,472

Ввод радиус: 1,56  
 Расчетываем пред. ч. Sn (mm2) по спец. Ф-ле

KEY	B, grad	A, grad	No	No	Nx	Nx	Smm2	Bo
1	30	40	44	38	44	38	3,19	1,557724
2	40	50	44	38	44	38	3,45	1,560565
3	50	65	44	38	44	38	4,17	1,560234
5	40	50	10	0	10	0	1,86	1,564978
6	40	50	20	0	20	0	2,44	1,565213
7	40	50	30	0	30	0	2,9	1,568342
8	40	50	40	0	40	0	3,3	1,55798
12	40	50	50	0	50	0	3,66	1,560734
15	0	0	0	0	0	0	1,07	0
*								

№, дБ = 38  
 В, град = 53  
 А, град = 70  
 No, мм = 8  
 Nx, мм = 8  
 Nх, дБ = 45  
 Sn, мм2 = 4

ANALIZIRUEM ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ОТВЕРСТИЯ : ДИАМЕТР, ГЛУБИНА ОТВЕРСТИЙ - КАКУЮ ДАЮТ ЭКВИВ. ПЛОЩАДЬ (MM2)  
 \* - Вводные данные ВСЕХ левый столбец (в т.ч. Мгц и т.д.)  
 Nx = f(Sn ...) => 43,62 dB  
 Sn=f(Bo,H) , Bo=0,1 to 10 Step 0.05 , to file: AnalzCDO.txt

Рис. 12. Базовые функции Электронного Консультанта Дефектоскописта

Корректировочная таблица N3 для перенастройки прибора с одной чувствительности на другую

s1 мм2	s2 мм2	дБ	Примечание
0,90	0,30	9,54	дБ (" отжать ")
0,90	0,45	6,02	дБ (" отжать ")
0,90	0,60	3,52	дБ (" отжать ")
0,90	0,90	0,00	
0,90	1,20	-2,50	дБ (" нажать ")
0,90	1,28	-3,06	дБ (" нажать ")
0,90	1,80	-6,02	дБ (" нажать ")
0,90	2,50	-8,87	дБ (" нажать ")
0,90	3,20	-11,02	дБ (" нажать ")
0,90	3,50	-11,80	дБ (" нажать ")
0,90	5,00	-14,89	дБ (" нажать ")
0,90	7,00	-17,82	дБ (" нажать ")
0,90	10,00	-20,92	дБ (" нажать ")
0,90	15,00	-24,44	дБ (" нажать ")
0,90	20,00	-26,94	дБ (" нажать ")
1,20	0,30	12,04	дБ (" отжать ")
1,20	0,45	8,52	дБ (" отжать ")
1,20	0,60	6,02	дБ (" отжать ")
1,20	0,90	2,50	дБ (" отжать ")
1,20	1,20	0,00	
1,20	1,28	-0,56	дБ (" нажать ")
1,20	1,80	-3,52	дБ (" нажать ")
1,20	2,50	-6,38	дБ (" нажать ")
1,20	3,20	-8,52	дБ (" нажать ")
1,20	3,50	-9,30	дБ (" нажать ")
1,20	5,00	-12,40	дБ (" нажать ")
1,20	7,00	-15,32	дБ (" нажать ")
1,20	10,00	-18,42	дБ (" нажать ")
1,20	15,00	-21,94	дБ (" нажать ")
1,20	20,00	-24,44	дБ (" нажать ")
1,80	0,30	15,56	дБ (" отжать ")
1,80	0,45	12,04	дБ (" отжать ")
1,80	0,60	9,54	дБ (" отжать ")
1,80	0,90	6,02	дБ (" отжать ")
1,80	1,20	3,52	дБ (" отжать ")
1,80	1,28	2,96	дБ (" отжать ")
1,80	1,80	0,00	
1,80	2,50	-2,85	дБ (" нажать ")
1,80	3,20	-5,00	дБ (" нажать ")
1,80	3,50	-5,78	дБ (" нажать ")

Рис. 13. Таблица для моментальной перенастройки дефектоскопа. Часть 1

1,80	3,50	-5,78	дБ (" нажать ")
1,80	5,00	-8,87	дБ (" нажать ")
1,80	7,00	-11,80	дБ (" нажать ")
1,80	10,00	-14,89	дБ (" нажать ")
1,80	15,00	-18,42	дБ (" нажать ")
1,80	20,00	-20,92	дБ (" нажать ")
2,50	0,30	18,42	дБ (" отжать ")
2,50	0,45	14,89	дБ (" отжать ")
2,50	0,60	12,40	дБ (" отжать ")
2,50	0,90	8,87	дБ (" отжать ")
2,50	1,20	6,38	дБ (" отжать ")
2,50	1,28	5,81	дБ (" отжать ")
2,50	1,80	2,85	дБ (" отжать ")
2,50	2,50	0,00	
2,50	3,20	-2,14	дБ (" нажать ")
2,50	3,50	-2,92	дБ (" нажать ")
2,50	5,00	-6,02	дБ (" нажать ")
2,50	7,00	-8,94	дБ (" нажать ")
2,50	10,00	-12,04	дБ (" нажать ")
2,50	15,00	-15,56	дБ (" нажать ")
2,50	20,00	-18,06	дБ (" нажать ")
3,50	0,30	21,34	дБ (" отжать ")
3,50	0,45	17,82	дБ (" отжать ")
3,50	0,60	15,32	дБ (" отжать ")
3,50	0,90	11,80	дБ (" отжать ")
3,50	1,20	9,30	дБ (" отжать ")
3,50	1,28	8,74	дБ (" отжать ")
3,50	1,80	5,78	дБ (" отжать ")
3,50	2,50	2,92	дБ (" отжать ")
3,50	3,20	0,78	дБ (" отжать ")
3,50	3,50	0,00	
3,50	5,00	-3,10	дБ (" нажать ")
3,50	7,00	-6,02	дБ (" нажать ")
3,50	10,00	-9,12	дБ (" нажать ")
3,50	15,00	-12,64	дБ (" нажать ")
3,50	20,00	-15,14	дБ (" нажать ")
5,00	0,30	24,44	дБ (" отжать ")
5,00	0,45	20,92	дБ (" отжать ")
5,00	0,60	18,42	дБ (" отжать ")
5,00	0,90	14,89	дБ (" отжать ")
5,00	1,20	12,40	дБ (" отжать ")
5,00	1,28	11,84	дБ (" отжать ")
5,00	1,80	8,87	дБ (" отжать ")
5,00	2,50	6,02	дБ (" отжать ")
5,00	3,20	3,88	дБ (" отжать ")

Рис. 14. Таблица для моментальной перенастройки дефектоскопа. Часть 2

5,00	0,45	20,92	дБ ("отжать")
5,00	0,60	18,42	дБ ("отжать")
5,00	0,90	14,89	дБ ("отжать")
5,00	1,20	12,40	дБ ("отжать")
5,00	1,28	11,84	дБ ("отжать")
5,00	1,80	8,87	дБ ("отжать")
5,00	2,50	6,02	дБ ("отжать")
5,00	3,20	3,88	дБ ("отжать")
5,00	3,50	3,10	дБ ("отжать")
5,00	5,00	0,00	
5,00	7,00	-2,92	дБ ("нажать")
5,00	10,00	-6,02	дБ ("нажать")
5,00	15,00	-9,54	дБ ("нажать")
5,00	20,00	-12,04	дБ ("нажать")
7,00	0,30	27,36	дБ ("отжать")
7,00	0,45	23,84	дБ ("отжать")
7,00	0,60	21,34	дБ ("отжать")
7,00	0,90	17,82	дБ ("отжать")
7,00	1,20	15,32	дБ ("отжать")
7,00	1,28	14,76	дБ ("отжать")
7,00	1,80	11,80	дБ ("отжать")
7,00	2,50	8,94	дБ ("отжать")
7,00	3,20	6,80	дБ ("отжать")
7,00	3,50	6,02	дБ ("отжать")
7,00	5,00	2,92	дБ ("отжать")
7,00	7,00	0,00	
7,00	10,00	-3,10	дБ ("нажать")
7,00	15,00	-6,62	дБ ("нажать")
7,00	20,00	-9,12	дБ ("нажать")
10,00	0,30	30,46	дБ ("отжать")
10,00	0,45	26,94	дБ ("отжать")
10,00	0,60	24,44	дБ ("отжать")
10,00	0,90	20,92	дБ ("отжать")
10,00	1,20	18,42	дБ ("отжать")
10,00	1,28	17,86	дБ ("отжать")
10,00	1,80	14,89	дБ ("отжать")
10,00	2,50	12,04	дБ ("отжать")
10,00	3,20	9,90	дБ ("отжать")
10,00	3,50	9,12	дБ ("отжать")
10,00	5,00	6,02	дБ ("отжать")
10,00	7,00	3,10	дБ ("отжать")
10,00	10,00	0,00	
10,00	15,00	-3,52	дБ ("нажать")
10,00	20,00	-6,02	дБ ("нажать")

Рис. 15. Таблица для моментальной перенастройки дефектоскопа. Часть 3

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. Приказ от 21 ноября 2016 года N 490 Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Основные требования к проведению неразрушающего контроля» [Электронный ресурс]: URL:<http://enis.gosnadzor.ru/activity/control/lift/Materials/20.%20ФНП%20Неразрушающий%20контроль.pdf> (дата обращения: 03.03.2023).
2. Козлов Ю.Н. Компьютерный Анализатор Дефектов (КАД/СДА). Свидетельство РФ о регистрации программы для ЭВМ №2004611317.
3. Козлов Ю.Н., Кишкин А.А., Мирза Э.Н., Зуев А.А., Мелкозеров М.Г. Система управления базами табличных данных (В2). Свидетельство №2004610466.
4. Козлов Ю.Н. Патент на изобретение №2265209. Образец для настройки чувствительности ультразвуковых приборов.
5. Козлов Ю.Н. Патент на полезную модель №42664. Эталон для настройки чувствительности ультразвуковых приборов.

---

© Козлов Юрий Николаевич (lab\_uzd@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ КРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ С НИЗКООМНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ<sup>1</sup>

## COMPUTER SIMULATION OF THE SINGLE-PHASE SHORT CIRCUITS IN ELECTRIC NETWORKS WITH LOW-RESISTANCE NEUTRAL GROUNDING<sup>2</sup>

**D. Kudelina  
V. Biryulin**

*Summary.* The article deals with the issues related to the operation of medium voltage cable electrical networks with low-resistance resistive grounding of the neutral, made by power cables with screens. The computer model created by the authors gives the investigation results. This model presents the voltages values arising on grounding devices in the event of a short circuit between a current-carrying core cable and a screen grounded on both sides. It is shown that the values of the voltage arising on the grounding devices can be dangerous. Designing medium voltage electrical networks, it is necessary to analyze the operation of the lines relay protection in order to avoid cases of the existence of a dangerous voltage with a time exceeding the maximum allowable voltage on the grounding devices.

*Keywords:* neutral, grounding, relay protection, touch voltage, insulation, grounding device.

**Куделина Дарья Васильевна**

кандидат технических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, Россия, Курск  
mary\_joy@mail.ru

**Бирюлин Владимир Иванович**

кандидат технических наук, доцент, Юго-Западный государственный университет, Россия, Курск  
bir1956@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются вопросы, связанные с работой кабельных электрических сетей среднего напряжения с низкоомным резистивным заземлением нейтрали, выполненных силовыми кабелями с экранами. Представлены результаты исследования на созданной авторами компьютерной модели значений возникающих напряжений на заземляющих устройствах при появлении короткого замыкания между токоведущей жилой кабеля и заземленным с двух сторон экраном. Показано, что значения возникающего на заземляющих устройствах напряжения могут быть опасными, и при проектировании электрических сетей среднего напряжения необходимо проводить анализ работы релейной защиты линий для избежания случаев существования опасного напряжения с временем, превышающим предельно допустимое, на заземляющих устройствах.

*Ключевые слова:* нейтраль, заземление, релейная защита, напряжение прикосновения, изоляция, заземляющее устройство.

### Введение

В системах электроснабжения городов и промышленных предприятий важную роль играют электрические сети, осуществляющие распределение электроэнергии на среднем напряжении, значения которого могут варьироваться от 6 до 35 кВ. В нашей стране работа этих электросетей допускается согласно нормативным документам с разными системами — заземления нейтрали. До недавнего времени применялись два способа заземления нейтрали — изолированная нейтраль и резонансно-заземленная или компенсированная нейтраль. На сегодняшний день в российской энергетике может использоваться также и соединение нейтрали с землей через резистор, имеющий большое сопротивление (высокоомное заземление) или малое сопротивление (низкоомное заземление) [1–3].

Таким образом, при первоначальном строительстве или реконструкции в зависимости от тех или иных факторов электрическая сеть среднего напряжения может быть выполнена с разными способами заземления нейтрали, причем по своим свойствам значительно отличающимися друг от друга.

### Литературный обзор

Выбор конкретной системы заземления нейтрали во многом влияет на многие важные показатели рассматриваемой электрической сети:

- возможность работы данной сети при возникновении замыкания одной фазы на землю или появления однофазного замыкания на землю (ОЗЗ); электросети, допускающие такую работу, обеспечивают потребителей электрической энергией с достаточно высокой степенью надежности;

<sup>1</sup> Исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-5109.2022.4 «Разработка автоматизированной системы выявления объектов, оказывающих негативное влияние на качество электроэнергии».

<sup>2</sup> The publication was carried out with the Russian Federation President Grant financial support for young scientists state support — Candidates of Science, project No. MK-5109.2022.4 «An automated system development for identifying objects which have a negative impact on power quality».

- обеспечение безопасности обслуживающего персонала и других людей при возникновении ОЗЗ;
- влияние ОЗЗ на работу электрооборудования (в первую очередь, изоляции) при появлении ОЗЗ, учитывая при этом происходящие изменения величин напряжений на неповрежденных фазах сети относительно земли;
- создание больших по своей величине перенапряжений в электрических сетях, величина которых может превышать номинальное фазное напряжение сети в два и более раза;
- величина тока повреждения, возникающего при появлении ОЗЗ;
- способы построения и уставки срабатывания устройств релейной защиты от ОЗЗ;
- необходимый уровень изоляции, используемой в электрических сетях среднего напряжения.

Исходя из этого, можно прийти к заключению, что выбор системы заземления нейтрали во многом влияет на применение различных конструктивных решений в той или иной электрической сети среднего напряжения. Распределительные электрические сети среднего напряжения имеют значительно большую протяженность по отношению к электросетям класса 110 кВ и выше. Поэтому от их надежной работы во многом зависит бесперебойность снабжения электрической энергией многочисленных потребителей, как в промышленности, так и других потребителей.

Рассмотрим работу электрических сетей среднего напряжения при появлении в них ОЗЗ, учитывая при этом, что данный вид повреждений встречается чаще, чем другие виды нарушения нормальной работы токоведущих частей и электрооборудования в электросетях [4, 5].

Если в электрической сети используется режим изолированной нейтрали, то такое повреждение приведет к протеканию тока замыкания в электрической сети. Значение возникающего тока повреждения будет определяться емкостью фаз этой сети относительно земли. В свою очередь, величина емкости в сети в итоге зависит от конструкции примененных силовых кабелей и суммарной длины кабельных линий, проложенных в данной электрической сети.

Небольшая величина тока ОЗЗ (при относительно небольшой длине кабельных линий) позволит не производить быстрого отключения данного повреждения, так как при таких значениях тока не возникает опасных нагревов электрооборудования. Это обстоятельство, несомненно, увеличивает надёжность электроснабжения потребителей, подключенных к данной электрической сети. Если кабельная электрическая сеть имеет большую длину, то в этом случае токи замыкания на землю будут иметь более высокие значения по сравнению с предельно до-

пустимыми значениями, приведенными в нормативных документах, и тогда для их снижения необходимо использовать компенсирующие устройства (дугогасящие реакторы), обеспечивающие низкий уровень емкостных токов в сети и работу электрической сети с компенсированной нейтралью.

Следует отметить, что для режимов изолированной и компенсированной нейтралей, несмотря на отсутствие необходимости их быстрого отключения при ОЗЗ, характерны следующие негативные свойства:

- существование вероятности возникновения больших перенапряжений на неповрежденных фазах электрической сети, отрицательно воздействующих на изоляцию элементов этих электросетей, особенно опасных при неустойчивом горении дуги в месте возникновения ОЗЗ, сопровождающихся прерываниями и повторными зажиганиями электрической дуги;
- опасность попадания людей под шаговое напряжение, возникающее на поверхности грунта при ОЗЗ, учитывая, что данный вид повреждения не отключается быстро защитными устройствами;
- рост напряжения на неповрежденных фазах сети относительно земли до междуфазного значения.

Чтобы снизить уровень перенапряжений в электрических сетях среднего напряжения при появлении замыканий на землю, особенно сопровождающихся неустойчивым горением дуги в месте повреждения, попутно снижая вероятность появления феррорезонансных явлений, обеспечивая тем самым снижение числа дополнительных повреждений изоляции оборудования электрической сети, применяется относительно новый для российских электрических сетей режим работы с резистивно-заземленной нейтралью или комбинированно заземленной (через параллельно включенные дугогасящий реактор и резистор между нейтралью сети и землей) нейтралью.

Одной из современных тенденций развития электрических сетей среднего напряжения является использование системы низкоомного резистивного заземления нейтрали и широкое применение силовых кабелей, (как трехфазных, так и трехфазных групп из трех одножильных кабелей) [6–9]. Внедрение низкоомного резистивно-заземления нейтрали придает электрическим сетям следующие свойства [10, 11]:

- исключение появления больших по величине перенапряжений, так как отсутствуют замыкания с перемежающимися дугами [12–14];
- уменьшаются возможности для перехода замыкания одной фазы на землю в многофазные повреждения изоляции элементов таких сетей;
- устранение опасности появления опасных феррорезонансных явлений, сопровождающихся не-

нормальными режимами работы измерительных трансформаторов напряжения, которые могут привести к их повреждениям;

- значительно снижается вероятность поражения электрическим током людей при пробое фазной изоляции на землю, так как этот режим будет являться аварийным и будет существовать только на время действия релейной защиты и срабатывания выключателя [4].

### Материалы и методы

Для современных городских электрических сетей, особенно в крупных городах, характерны высокий уровень потребления электрической энергии и плотности нагрузки потребителей. Поэтому в таких электросетях все шире и шире используются силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена. Данные кабели имеют прогрессивную конструкцию, изготавливаются по современной технологии из материалов с высокими механическими и электрическими свойствами, что обеспечивает им значительное преимущество перед ранее разработанными типами кабелей, в том числе по допустимым температурам, пропускной способности.

Данные кабели в настоящее время выпускаются как трехжильными, так и одножильными. Одножильные кабели имеют большой диапазон выпускаемых сечений и применяются в составе трехфазной группы (три однофазных кабеля). Отличительной особенностью однофазных кабелей по сравнению с трехфазными является наличие у них проводящего экрана, расположенного поверх фазной изоляции и обеспечивающего выравнивание электрического поля (устранение локальных максимумов напряженности) в этой изоляции. При монтаже трехфазной группы однофазных кабелей экраны этих кабелей присоединяют к заземляющим устройствам подстанций или распределительных пунктов по обоим концам кабельной линии, как показано на рис. 1.



Рис. 1. Заземление экранов однофазных кабелей:  
1 — токоведущие жилы кабелей; 2 — экраны кабелей

Заземление экранов кабелей выполняется для обеспечения равномерности электрического поля, создаваемого токоведущей жилой, находящейся под напряжением. Выравнивание электрического поля обеспечивает хорошие условия для работы изоляции токоведущей жилы [15].

Но если заземление экрана выполняется только с одной стороны кабеля, то на незаземленном конце экрана может возникать в нормальном режиме работы напряжение достаточно большой величины, создающее опасность для персонала энергетических объектов. Для исключения этой опасности выполняется заземление экранов кабелей с двух сторон, как показано на рис. 2.

Но при таком заземлении создаются пути протекания токов в экранах, как в нормальном режиме работы (емкостной и индуктивный механизм создания токов в экранах), так и в аварийном режиме — пробоем изоляции между токоведущей жилой и экраном (однофазное КЗ). Протекание токов в экранах приводит к появлению напряжения на заземляющих устройствах.

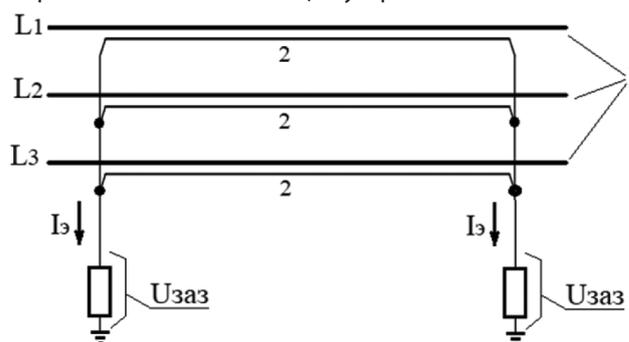


Рис. 2. Напряжения на заземляющих устройствах

Очевидно, что максимальное значение токов в экранах кабелей возникает в режиме однофазного КЗ, если электрическая сеть работает в режиме низкоомного заземления нейтрали. В этом случае большой практический интерес представляет определение напряжений, возникающих на заземляющих устройствах во время протекания тока однофазного КЗ.

Авторы статьи выполнили компьютерное моделирование режима однофазного КЗ трехфазной кабельной линии с заземлением экранов кабелей, входящих в эту группу по обоим концам линии. Это моделирование проводилось на основании данных конкретного энергетического объекта. Описываемая в статье модель была создана в программном пакете PSCAD, обеспечивающем проведение расчетов установившихся и переходных режимов работы электрических систем и различного электрооборудования.

Процесс моделирования производился для кабельной сети напряжением 20 кВ, выполненной кабелями сечением 500 мм<sup>2</sup> с экранами сечением 70 мм<sup>2</sup>. Данная сеть обеспечивает передачу электрической энергии от двух секций шин, подключенных к силовому трансформатору через реакторы.

При составлении модели рассматривалась кабельная линия длиной 10 км. С одной стороны этой линии

экраны кабелей подключены к заземляющему устройству подстанции, имеющему сопротивление, равное 0,17 Ом, с другой стороны к заземляющему устройству распределительного пункта с сопротивлением 0,3 Ом. При проведении моделирования изменялось положение точки короткого замыкания с некоторым шагом от начала до конца линии. Поэтому модель линии была разделена на два фрагмента, схемы которых приведены на рис. 3 и рис. 4.

Первый фрагмент модели кабельной линии представляет собой участок рассматриваемой линии от шин подстанции до точки однофазного короткого замыкания, создаваемого между фазой А и экраном кабеля. Для этой цели применяется короткозамыкатель, подключа-

емый при создании модели ко всем трем фазам линии. При наладке модели был выбран вид повреждения — однофазное короткое замыкание (между фазой А и заземленным экраном).

**Результаты**

Измерение значений токов в экранах линии с помощью токовых измерителей выполнялось для начала линии, места возникновения повреждения (в данном месте экраны первого фрагмента линии соединяются с экранами второго фрагмента линии, и одна фаза замыкается на экран) и конце линии.

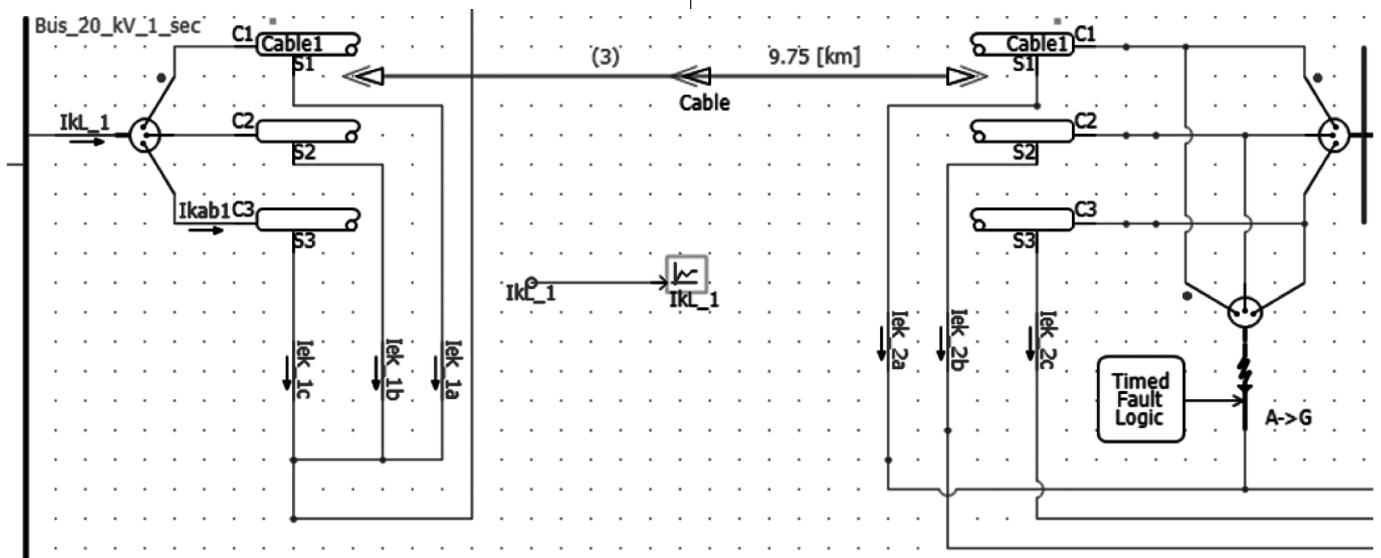


Рис. 3. Первый фрагмент модели

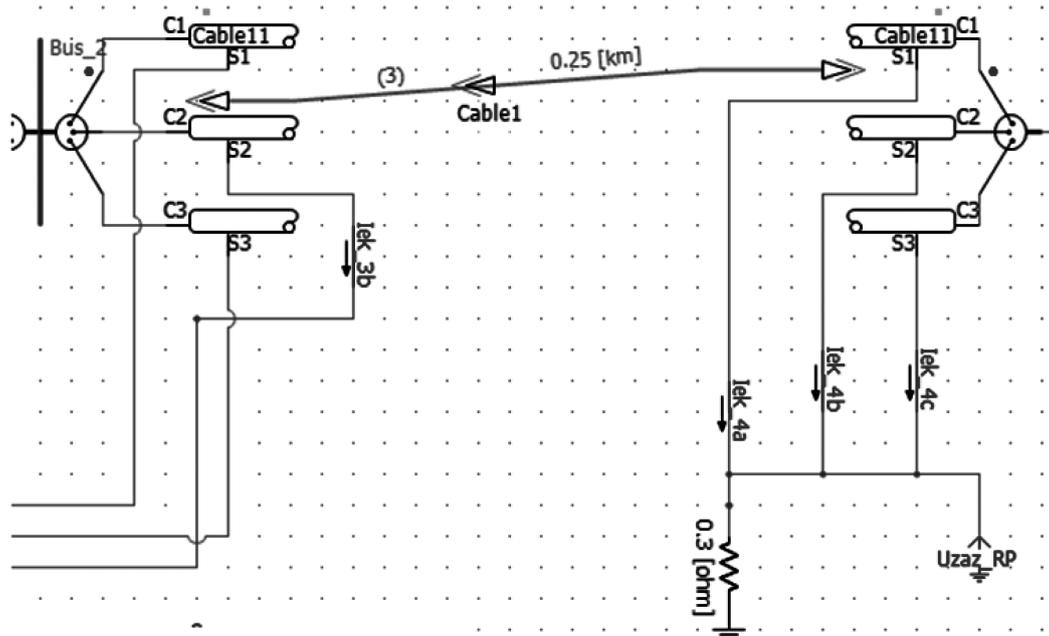


Рис. 4. Второй фрагмент модели кабельной линии

В рассматриваемой схеме ток однофазного КЗ (между фазой и экраном кабеля) протекает от поврежденной фазы через экран и заземляющие устройства, к которым он присоединен. Ток однофазного КЗ в системе с низкоомным заземлением нейтрали имеет большую величину, поэтому во время существования данного повреждения на заземляющих устройствах могут возникать значительные напряжения, представляющие опасность для персонала энергетических объектов. Поэтому, кроме величины токов экранов линии, также проводились измерения напряжений на заземляющих устройствах.

Результаты измерений показаны в таблице 1. В ней приведены длины фрагментов модели кабельной линии.  $L_1$  представляет расстояние от начала линии до точки возникновения повреждения,  $L_2$  — расстояние от места возникновения повреждения до конца линии. Далее приведены значения тока однофазного КЗ (в столбце  $I_{окз}$ ).

Токи экранов приведены в таблице по каждой фазе, как в начале линии, так и в конце линии, через разделяющий символ «/». Также в этой таблице представлены значения напряжений на заземляющих устройствах подстанции ( $U_{зав}$  ПС) и распределительного пункта ( $U_{зав}$  РП).

### Обсуждение

Поведем анализ полученных результатов. Ток однофазного КЗ на рассматриваемой линии изменялся в пределах от 1348,7 до 1230,0 А. Эти значения обеспечивают селективное действие релейной защиты при возникновении такого повреждения, что предоставляет возможность быстрого отключения возникшего повреждения.

В экране фазы А протекает значительный ток, величина которого зависит от места возникновения повреждения. При моделировании наибольшее значение тока экрана было зафиксировано в случае возникновения замыкания фазы А на экран кабеля при расстоянии от места возникающего повреждения до начала линии, равного 100 метров или 0,1 км. Для оценки допустимости такого тока с точки зрения термической стойкости кабельной линии (в том числе и по температуре экрана) воспользуемся приведенными в ряде источников данными по проверке кабелей на термическую стойкость и невозгораемость.

Так, в [1] приведены предельные значения токов КЗ, протекающих по различным сечениям медных экранов в течение одной секунды, для обеспечения термической стойкости и невозгораемости. Для сечения 70 мм<sup>2</sup> термическая стойкость достигается при токах, не превышающих значения 12,2 кА, невозгораемость — при токах, не превышающих 14,5 кА. Приведенные в табл. 1 значения токов однофазного КЗ позволяют сделать вывод, что при времени существования такого повреждения до одной секунды условия термической стойкости и невозгораемости кабеля не будут нарушены.

Перейдем к анализу значений напряжений на заземляющих устройствах. Как видно по данным табл.1, самое большое значение напряжения создается на заземляющем устройстве подстанции. Оно изменяется от 127,8 до 113,1 В. Воспользуемся приведенными в табл. 2 [17] значениями допустимых напряжений прикосновений. В этой таблице приведены значения допустимых напряжений прикосновений для продолжительности воздействия тока (в нашем случае — это длительность существования однофазного КЗ) в целых долях секунды.

Таблица 1.

Результаты измерений токов и напряжений

$L_1$ , км	$L_2$ , км	$I_{окз}$ , А	Токи экранов, А			$U_{зав}$ ПС, В	$U_{зав}$ РП, В
			Фаза А	Фаза В	Фаза С		
0,10	9,90	1348,7	1330,5/18,4	16,9/11,0	20,1/7,3	127,8	6,1
1,0	9,00	1325,6	1230,7/95,3	36,2/34,1	22,7/43,8	125,3	6,6
2,00	8,00	1302,5	1125,1/177,9	74,6/73,2	61,4/83,8	122,7	7,1
3,00	7,00	1282,3	1024,8/258,3	113,3/111,8	100,1/122,8	120,5	7,8
4,00	6,00	1265,2	929,3/336,7	151,3/149,6	138,2/160,7	118,5	8,5
5,00	5,00	1251,3	838,1/414,0	188,8/186,8	175,7/198,2	116,8	9,1
6,00	4,00	1240,7	750,7/490,8	226,1/223,8	212,9/235,3	115,5	9,8
7,00	3,00	1233,3	666,4/567,6	263,4/260,9	250,2/272,5	114,4	10,5
8,00	2,00	1229,3	584,7/645,2	301,0/298,4	287,8/310,0	113,7	11,3
9,00	1,00	1228,6	504,9/724,2	339,2/336,5	326,1/348,2	113,2	12,1
9,50	0,50	1229,0	465,6/764,4	358,8/355,9	345,6/367,6	113,1	12,4
9,75	0,25	1230,0	446,0/784,8	368,7/365,8	355,6/377,4	113,1	12,7

Таблица 2.

Допустимое время существования напряжения на заземляющем устройстве подстанции в зависимости от положения точки КЗ на линии

Расстояние от начала линии до точки КЗ	Напряжение на заземляющем устройстве, В	Допустимое время существования напряжения, с
0,10	127,8	0,44
5,00	116,8	0,49
8,00	113,7	0,51
9,75	113,1	0,52

Чтобы получить значения, соответствующие найденным значениям напряжений на заземляющих устройствах, определим функцию, показывающую зависимость длительности существования опасного повреждения от величины напряжения прикосновения. Для этой цели использовалась компьютерная система научно-технических расчетов MatLab.

Поиск функции производился как подбор наиболее подходящего данным таблицы 2 [17] полинома некоторой степени. В результате вычислений было определено, что наилучшее приближение дает полином третьей степени со следующими коэффициентами:

$$a_1 = -1,1990e-07, a_2 = 0,0001, a_3 = -0,0242, a_4 = 2,1484$$

и выражение для нахождения допустимого времени существования напряжения на заземляющем устройстве  $t_{доп}$  будет иметь следующий вид:

$$t_{доп} = a_1 \cdot U^3 + a_2 \cdot U^2 + a_3 \cdot U + a_4.$$

Для проверки точности приближения используем два предельных значения напряжения прикосновения 120 В и 160 В, которым соответствуют допустимые длительности воздействия 0,4 с и 0,2 с. Для первого значения напряжения (120 В) допустимое время его существования на заземляющем устройстве в с:

$$t_{доп} = -1,1990e-07 \cdot 120^3 + 0,0001 \cdot 120^2 + (-0,0242) \cdot 120 + 2,1484 = 0,3946 \text{ с.}$$

Для второго значения напряжения (160 В) допустимое время его существования на заземляющем устройстве в с:

$$t_{доп} = -1,1990e-07 \cdot 160^3 + 0,0001 \cdot 160^2 + (-0,0242) \cdot 160 + 2,1484 = 0,1980 \text{ с.}$$

Сравнивая приведенные расчетные значения времени существования напряжения на заземляющем устройстве с заданными в [17], можно сделать вывод о хорошей точности вычислений по найденному полиному. Определим допустимое время существования напряжений на заземляющих устройствах.

Приведенные в табл. 2 значения допустимых времен существования однофазных КЗ в разных точках линии, по существу, определяют требования к быстрдействию защит на этой линии. Поэтому при проектировании электрических сетей среднего напряжения, работающих с низкоомным заземлением нейтрали, следует выполнять проверку на допустимость времени существования напряжения на заземляющих устройствах. Для примера рассмотрим значение выдержки времени срабатывания защиты от однофазного КЗ, равное 0,2–0,4 с, взятое из [17].

Если защита от однофазных КЗ работает с выдержкой времени, не превышающей указанных выше значений, по всей длине кабельной линии, то очевидно, что время существования напряжения на заземляющем устройстве подстанции не превышает допустимого значения. Но при этом нужно учитывать тот факт, что может произойти отказ защиты от однофазных КЗ, и в действие должна вступать резервная защита, выдержка времени действия которой окажется больше допустимой длительности существования напряжения на заземляющем устройстве.

### Заключение

Проведенный анализ режимов работы электрических сетей среднего напряжения с низкоомным заземлением нейтрали на созданной авторами статьи компьютерной модели показал, что при возникновении однофазного КЗ на кабельной линии, выполненной в виде трехфазной группы однофазных кабелей, на заземляющих устройствах появляется напряжение, достаточно большое по своей величине. Поэтому при проектировании таких кабельных сетей необходимо выполнение проверки времени отключения однофазных КЗ, возникающих как в начале, так и в конце рассматриваемых линий устройствами релейной защиты, для избежания ситуации, когда на заземляющем устройстве подстанции будет существовать с недопустимой продолжительностью опасное напряжение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бурчевский, В.А., Владимиров, Л.В., Ощепков, В.А., Суриков, В.И. Обзор режимов заземления нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ // Омский научный вестник. 2009. №1 (77). С. 122–126.
2. Кузьмин, А.А., Алтандулга, Б. К вопросу выбора режима заземления нейтрали в сети среднего класса напряжения городского электроснабжения // Вестник Чувашского университета. 2015. №3. С. 62–67.
3. Михеев, Г.М., Зиганшин, А.Г. Возможность влияния современных технологий на режим нейтрали электрических сетей // Вестник Чувашского университета. 2021. №3. С. 103–112. doi: 10.47026/1810-1909-2021-3-103-112.
4. Андреев, А.А. Анализ существующих разновидностей защит от однофазных замыканий на землю и условия их применения // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2021. №4 (72). С. 56–70. doi: 10.14498/tech.2021.4.5.
5. Булычев, А.В. Выбор параметров срабатывания защит от однофазных замыканий на землю в распределительных сетях при разных режимах нейтрали // Релейная защита и автоматизация. 2022. №1(46). С.36–45.
6. Евминов, Л.И., Алферова, Т.В. Резистивное заземление нейтрали в распределительных сетях 6–35 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2019. №4 (25). С. 94–109.
7. Евминов Л.И., Алферова Т.В. Применение резистивного заземления нейтрали в электрических сетях 6–35 кВ // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. 2022. №2 (89). С. 53–67.
8. Короткевич, М.А., Подгайский, С.И., Голомуздов, А.В. Эффективность применения кабелей напряжением 6–110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. Часть 1 // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2017. №5. С. 417–432.
9. Бакиров, А.Р., Васильева, А.Ю., Ширковец, А.И., Телегин, А.В. Опыт применения резистивного заземления нейтрали в сетях 6–10 кВ горнорудной промышленности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. №4. С. 328–334.
10. Куликова, Н.А., Титаренко, О.Н., Тяпкина, В.А. Резистивное заземление нейтрали — способ повышения надёжности работы электрических сетей 6–35 кВ // Энергетические установки и технологии. 2018. Т. 4, № 2. С. 32–38.
11. Майоров, А.В., Челазнов, А.А., Ильиных, М.В. Экспериментальные исследования переходных процессов при однофазных замыканиях в сети 20 кВ // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. 2015. №6. С. 23–29.
12. Ощепков, В.А., Владимиров, Л.В., Плотников, Д.И., Шакинов, Е.Е., Мельников, С.А., Паламарчук, Д.В. Влияние режима работы нейтрали распределительных электрических сетей на уровень перенапряжений при однофазном замыкании на землю // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. №1 (67). С. 119–123. doi: 10.23670/IRJ.2018.67.090.
13. Аюурзана, Э., Петров, М.И., Кузьмин, А.А. Экспериментальное исследование эффективности работы дугогасящих реакторов в улан-баторских городских электрических сетях 6–10 кВ // Вестник Чувашского университета. 2016. №1. С. 30–38.
14. Бадалян, Н.П., Колесник, Г.П., Чашин, Е.А. Заземление экрана однофазных силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2019. №30. С. 63–78.
15. Дмитриев М.В. Проверка кабельных линий 6–500 кВ при коротких замыканиях. Условия термической стойкости и невозгораемости // Электроэнергия. Передача и распределение. 2018. №4 (49). С. 76–82.
16. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. 7 с.

© Куделина Дарья Васильевна (mary\_joy@mail.ru); Бирюлин Владимир Иванович (bir1956@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРОВЕРКА СООТВЕТСТВИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА ТЕМПЕРАТУРЫ НА ОСНОВЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ТРЕБОВАНИЯМ ПРОГРАММНОЙ МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

VERIFICATION OF COMPLIANCE  
OF THE METROLOGICAL  
CHARACTERISTICS OF THE TEMPERATURE  
MEASURING CHANNEL BASED  
ON THE THERMOELECTRIC CONVERTER  
WITH THE REQUIREMENTS  
OF THE PROGRAM TESTING TECHNIQUE

**V. Kurakin**  
**D. Pototsky**  
**A. Godnev**

*Summary.* The lack of clearly formulated and detailed theoretical methods for checking the compliance of temperature measuring channels based on thermoelectric converters with the requirements of software testing procedures is the main problem on the way to improving the metrological characteristics of such measuring channels. This paper presents a theoretical calculation of the metrological characteristics of a temperature measuring channel based on a thermoelectric converter, on the basis of which it was concluded that the studied temperature measuring channel complies with the requirements of a software test procedure.

*Keywords:* measuring channel, temperature, thermoelectric converter, software technique, tests, measurements, verification, metrological characteristics, thermocouple.

**Куракин Владимир Андреевич**  
Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана  
fromkurakin@mail.ru

**Потоцкий Даниил Эдуардович**  
Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана

**Годнев Александр Геннадьевич**  
Доктор технических наук, профессор,  
Московский государственный технический  
университет имени Н.Э. Баумана

*Аннотация.* Отсутствие четко сформулированных и подробно описанных теоретических методов проверки соответствия измерительных каналов температуры на основе термоэлектрических преобразователей требованиям программных методик проведения испытаний является главной проблемой на пути улучшения метрологических характеристик таких измерительных каналов. В настоящей работе представлен теоретический расчет метрологических характеристик измерительного канала температуры на основе термоэлектрического преобразователя, на основании которого был сделан вывод о соответствии исследованного измерительного канала температуры требованиям программной методики проведения испытаний.

*Ключевые слова:* измерительный канал, температура, термоэлектрический преобразователь, программная методика, испытания, измерения, проверка, метрологические характеристики, термопара.

## Введение

В настоящее время информационно-измерительные системы (ИИС) несомненно играют важнейшую роль в развитии промышленности и научных исследованиях. Одним из наиболее важных параметров, требующих измерения и контроля, является температура. Контроль этого параметра может стать ключевым фактором для обеспечения безопасности и эффективности работы различных технологических систем и оборудования. В связи с этим возникает необходимость разработки новых и усовершенствования уже имеющихся эффективных измерительных каналов (ИК) температуры на основе термоэлектрических преобразователей, которые обеспечат высокую степень точности и надежности измерений.

Главной проблемой на пути улучшения метрологических характеристик уже спроектированных и введенных в эксплуатацию ИК температуры на основе термоэлектрических преобразователей является отсутствие четко и последовательно сформулированных и подробно описанных теоретических методов проверки этих ИК на соответствие требованиям программных методик (ПМ) проведения испытаний. Дело в том, что проверка любого ИК на соответствие требованиям ПМ проведения испытаний неразрывно связана с темой расчета погрешностей, которая до сих пор вызывает множество споров и дискуссий среди математиков, метрологов и специалистов в области обработки данных в информационно-измерительных системах (ИИС). Более того, разработка новых и изучение уже имеющихся теоретических методов обработки данных в ИИС существенно тормозится необ-

ходимостью владения довольно серьезным математическим аппаратом, недоступным большинству инженеров и метрологов, работающих на производстве.

В связи с вышеизложенными трудностями на абсолютном большинстве предприятий пользуются лишь экспериментальными методами проверки ИК температуры на основе термоэлектрических преобразователей на соответствие требованиям ПМ проведения испытаний. Однако без должного теоретического подтверждения полученных экспериментальных данных не может быть и речи о достижении необходимых уровней точности и надежности измерений температуры. Поэтому в настоящее время особую актуальность имеет именно необходимость теоретической проверки ИК температуры на соответствие требованиям ПМ проведения испытаний.

Основной целью настоящей работы как раз и являлась теоретическая проверка соответствия метрологических характеристик ИК температуры на основе термоэлектрического преобразователя требованиям ПМ проведения испытаний. Исследование проводилось студентами МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с ФКП НИЦ РКП г. Пересвет на базе предприятия при консультации Годнева А.Г., доктора технических наук и профессора кафедры К2 МГТУ им. Н.Э. Баумана. Стоит отметить, что никакой информации о проведении подобных исследований и расчетов где-либо ранее обнаружено не было. Объектом исследования являлись метрологические характеристики компонентов ИК температуры на основе термоэлектрического преобразователя, предметом исследования — погрешности ИК температуры на основе хромель-копелевой термопары.

В процессе работы были решены следующие задачи:

- изучить устройство и принцип работы ИК температуры на основе термоэлектрического преобразователя в составе ИИС В2;
- собрать априорные данные об основных метрологических характеристиках компонентов ИК температуры на основе термоэлектрического преобразователя;
- определить теоретически, соответствует ли используемый в ИИС В2 ИК температуры на основе хромель-копелевой термопары требованиям ПМ проведения испытаний.

Система информационно-измерительная стенда В2

ИИС В2 — стендовая ИИС, предназначенная для приема, обработки, отображения и хранения измерительной информации о физических параметрах испытуемых двигателей и технологических систем стенда В2.

Конструктивно ИИС В2 реализована по принципу магистрально-модульной архитектуры. Этот принцип

предполагает разделение ИИС на функциональные модули, которые соединяются через центральный канал связи системы — магистраль, обеспечивающую передачу данных между модулями.

ИИС В2 представляет собой комплекс функционально объединенных технических средств [4]:

- средств первичного измерительного преобразования;
  - кабельных перемычек;
  - стационарных кабельных линий, соединяющих между собой шкафы датчиков (ШД) и блоки коммутации (БК);
  - измерительно-вычислительного комплекса медленно меняющихся параметров (ИВК ММП);
  - измерительно-вычислительного комплекса быстро меняющихся параметров (ИВК БМП).
- В ИК температуры ИИС В2 используются следующие термоэлектрические преобразователи:
- термопары хромель-алюмелевые типа «К» (ТХА), класса допуска 1;
  - термопары хромель-копелевые типа «L» (ТХК), класса допуска 2;
  - термопары вольфрам-рениевые типов «А-1», «А-2», «А-3» (ТВР), классов допуска 2.

В настоящей работе в качестве демонстрации расчетов производилась теоретическая проверка на соответствие требованиям ПМ проведения испытаний именно ИК температуры на основе хромель-копелевой термопары типа «L», класса допуска 2. Однако аналогичные расчеты справедливы и для любого другого ИК температуры на основе любого другого термоэлектрического преобразователя.

Для подключения термоэлектрических преобразователей служат кабельные перемычки на вход каналов ИВК и стационарные кабельные линии, соединяющие между собой ШД и БК.

Температура является медленно меняющимся параметром, поэтому все расчеты и исследования в настоящей работе строились вокруг ИВК ММП ИИС В2.

ИВК ММП ИИС В2 состоит из [4]:

- основного оборудования ИВК ММП;
- сервера единого времени (СЕВ);
- средств организации локальной вычислительной сети (ЛВС) ИВК ММП;
- комплекса функционально-программного обеспечения.

Функционально ИИС В2 состоит из нескольких ИК. Одним из таких каналов является исследованный в настоящей работе ИК температуры на основе хромель-копелевой термопары.

**ИК температуры на основе термоэлектрических преобразователей**

ИК напряжения постоянного тока, соответствующего значениям температуры, измеряемой термоэлектрическим преобразователем (ТХК, ТХА, ТВР), предназначен для приема, регистрации и обработки электрических измерительных сигналов от термопар. Измерения выполняются с компенсацией температуры «холодного спая». Первым измерительным сигналом является аналоговый сигнал напряжения от термопары в мВ, а вторым — значение температуры «холодного спая».

Аналоговый электрический измерительный сигнал, полученный от первичного термоэлектрического преобразователя, поступает в ИК в ШД, далее передается по стационарной кабельной сети на БК и распределяется по аппаратно-программному комплексу (АПК) ИВК ММП. Затем сигнал проходит через барьер безопасности типа РИФ-П 1196DIN и поступает в устройство согласования сигнала (УСС) типа LE-75U. Внутри УСС аналоговый измерительный сигнал дублируется и передается на основной и дублирующий модули аналого-цифровых преобразователей (АЦП) типа LTR-27 с субмодулями типа Н-27Т для оцифровки. Модули АЦП установлены в крейтах.

Для измерения температуры компенсации «холодного спая» термопары используется термометр сопротивления (ТС) типа ДТС4, класса допуска «В» [4]. ТС подключен к ИК в ШД для подключения первичного термоэлектрического преобразователя. Аналоговый элек-

трический измерительный сигнал передается от ШД, расположенного в отсеке стенда В2, на БК, где распределяется по АПК ИВК ММП и передается к барьеру безопасности типа РИФ-П 1196DIN. Затем сигнал поступает на плату УСС типа LE-75U, где раздваивается и передается на основной и дублирующий модули АЦП типа LTR-27 с субмодулями типа Н-27Т для оцифровки. Абсолютная погрешность измерения температуры компенсации «холодного спая» термопары  $\Delta_{xc} = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$  [4];

После этого измерительные сигналы в цифровом виде передаются для регистрации в персональный компьютер (ПК) сбора данных, где сохраняются. Сохраненные сигналы передаются на автоматизированные рабочие места (АРМ) регистрации и обработки ММП и АРМ оператора через локальную кабельную сеть (ЛКС). На АРМ регистрации и обработки ММП выполняется пересчет измерительных сигналов в заданные единицы.

Температура, измеренная термопарой с учетом температурной компенсации, вычисляется на АРМ регистрации и обработки ММП. Питание стоек, где установлены компоненты ИК, осуществляется от сети 220 В через источники бесперебойного питания.

Структурная схема ИК температуры от термоэлектрических преобразователей ИВК ММП представлена на (рис. 1).

ШД используется для подключения термопар к разъемам стационарной кабельной сети, через которую аналоговый электрический измерительный сигнал переда-

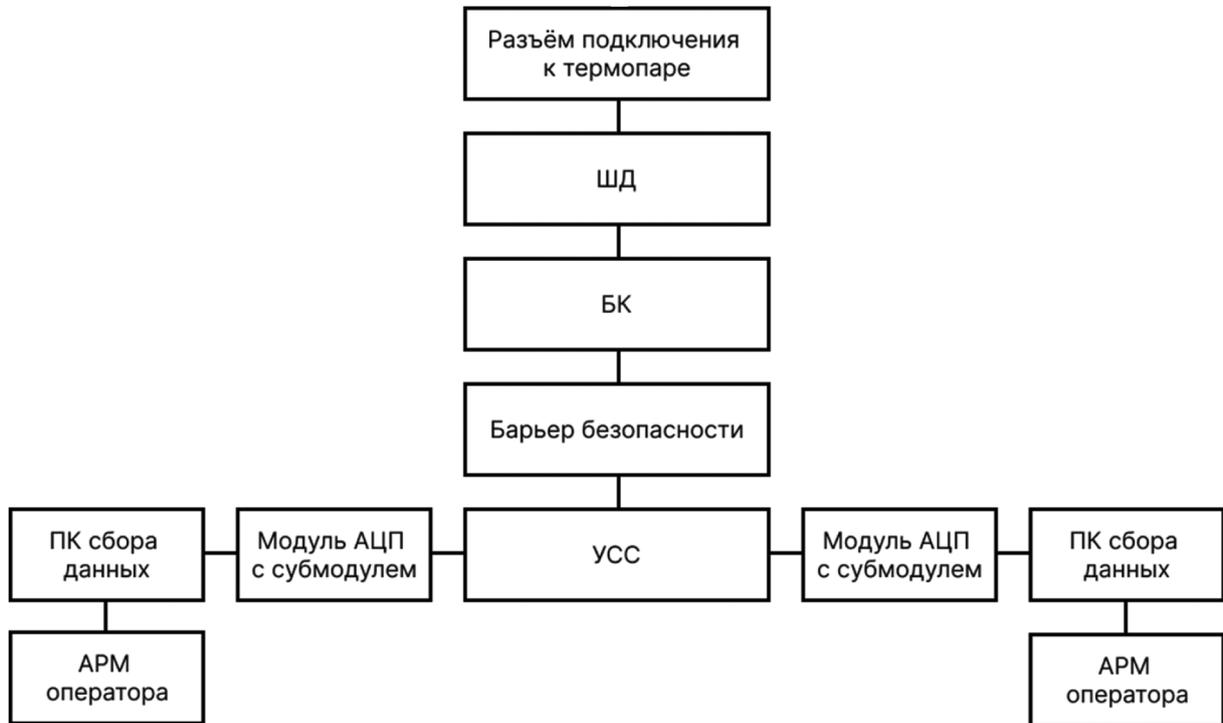


Рис. 1. Структурная схема ИК температуры от термоэлектрических преобразователей ИВК ММП

ется в БК. Внутри ШД устанавливается ТС для измерения температуры «холодного спая» термопары.

БК выполняет функцию распределения аналоговых электрических измерительных сигналов по АПК ИВК ММП. БК состоит из клеммных рядов, установленных в специальных шкафах. В БК проложены промаркированные кабели стационарной кабельной сети, которые используются для подключения компонентов ИК, расположенных в измерительных стойках, через разъемы и кабельную сеть. Предельная допускаемая основная приведенная погрешность БК составляет 0,05 %, согласно паспорту.

Барьер безопасности типа РИФ-П 1196DIN является взрывозащищенным оборудованием с уровнем защиты Exia. Предельная допускаемая основная приведенная погрешность барьера безопасности также составляет 0,05%, согласно паспорту.

УСС типа LE-75U используется для разделения входного аналогового измерительного сигнала и его передачи на два модуля АЦП. Это необходимо для дублирования электрических измерительных сигналов и выполнения требований по обеспечению должного уровня надежности измерений. УСС типа LE-75U имеет предельную допускаемую основную приведенную погрешность 0,1 %, согласно паспорту.

Модуль АЦП типа LTR-27 содержит измерительные каналы, предназначенные для измерения милливольтовых электрических измерительных сигналов от термопар. В модуле определено число и тип гальванически изолированных измерительных каналов, и они имеют асимметричный милливольтный диапазон измерений от –25 мВ до 75 мВ [4]. Предельная допускаемая основная приведенная погрешность модуля АЦП типа LTR-27 с submodule типа H-27T составляет 0,05 %, согласно паспорту. Модуль предназначен для прямого подключения и измерения электрических измерительных сигналов от термопар.

Измерительные сигналы в цифровом виде от основного и дублирующего модулей АЦП типа LTR-27 передаются на ПК сбора данных основной и дублирующий соответственно, где сохраняются. Синхронизация сигналов осуществляется в крейте по сигналам от СЕВ.

С ПК сбора данных основного и дублирующего цифровые измерительные сигналы передаются по ЛВС на АРМ регистрации и обработки данных ИВК ММП и АРМ оператора ИВК ММП. Обработка зарегистрированных измерительных сигналов включает в себя:

Расчет измерительного сигнала температуры  $U_t$  в мВ с учетом компенсации температуры «холодного спая»

термопары  $T_{xc}$  ( $U_{tk}$ ) в комплексе функционально-программного обеспечения «ACTest Cloud» [4]. Для автоматизации расчетов измерительных сигналов в процессе проведения испытаний в ПО добавлена функция, которая используется для коррекции температуры нерабочего спая термопары:  $U+CALCH\_TempToVoltage(T_{xc}, Type)$  [4], где:

- $T_{xc}$  — температура «холодного спая» термопары;
- $Type$  — тип применяемой термопары;
- $U$  — сигнал от рабочего спая термопары.

Расчет выполняется по следующему алгоритму:

Измерительный сигнал  $R_t$  в Ом от ТС температурной компенсации термопары пересчитывается в °С по [2] [4]. Для полученного значения температуры  $T_{xc}$  в °С выполняется пересчет в значение  $U_{tk}$  в мВ по [1] и [5] для соответствующего типа термопары (такого же, как тип термопары, измеряющей температуру испытуемого изделия) [4].

Затем выполняется расчет измеренного сигнала  $U_t$  в мВ с учетом температурной компенсации по формуле [4]:

$$U_t = U_T + U_{tk} \quad (1)$$

где  $U_t$  — сигнал напряжения, измеренный от термопары с учетом температурной компенсации;

$U_{tk}$  — сигнал от ТС температурной компенсации, пересчитанный в мВ для применяемого типа термопары;

$U_T$  — сигнал напряжения, измеренный от рабочего спая термопары.

Полученное значение сигнала  $U_t$  в мВ пересчитывается в значение температуры в °С по [9] и представляется в визуализаторе.

Дальнейшую обработку данных проводят в объеме, предусмотренном ПМ проведения испытаний.

В ИК температуры предусмотрена градуировка электрических измерительных сигналов в единицы измеряемой величины. Градуировка выполняется расчетным путем, по [1] или по таблицам, указанным изготовителями.

Комплексный компонент измерительной системы (ККИС) ИВК ММП измерения электрических измерительных сигналов от термопар выполняет измерение сигнала от первичного термоэлектрического преобразователя в приведенных ниже диапазонах, что соответствует [1] и [5]:

- от –9,488 мВ до 66,466 мВ, что соответствует значениям температуры от –200 °С до 800 °С для термо-

пар типа «L» (ТХК), класса допуска 2, с предельной допускаемой абсолютной погрешностью измерений  $\Delta = \pm 2,5$  °С или предельной допускаемой основной приведенной погрешностью измерений  $\gamma = \pm 0,75$  % в зависимости от того, какое из значений больше;

- от –6,404 мВ до 52,410 мВ, что соответствует значениям температуры от –250 °С до 1300 °С для термопар типа «К» (ТХА), класса допуска 1, с предельной допускаемой абсолютной погрешностью измерений  $\Delta = \pm 1,5$  °С и предельной допускаемой основной приведенной погрешностью измерений  $\gamma = \pm 0,4$  % в зависимости от того, какое из значений больше;
- от 16,128 мВ до 33,64 мВ, что соответствует значениям температуры от 1000 °С до 2500 °С для термопар типа «А-1» (ТВР), класса допуска 2, с предельной допускаемой основной приведенной погрешностью измерений  $\gamma = \pm 0,5$  %;
- от 16,289 мВ до 27,232 мВ, что соответствует значениям температуры от 1000 °С до 1800 °С для термопар типа «А-2» (ТВР), класса допуска 2, с предельной допускаемой основной приведенной погрешностью измерений  $\gamma = \pm 0,5$  %;
- от 15,980 мВ до 26,773 мВ, что соответствует значениям температуры от 1000 °С до 1800 °С для термопар типа «А-3» (ТВР), класса допуска 2, с предельной допускаемой основной приведенной погрешностью измерений  $\gamma = \pm 0,5$  %.

Все значения погрешностей первичных термоэлектрических преобразователей приведены в соответствии с их паспортными данными.

#### Проверка соответствия ИК температуры на основе хромель-копелевой термопары требованиям ПМ проведения испытаний

ПМ проведения испытаний: необходимо было измерять температуру от 400 °С до 600 °С с предельной допускаемой суммарной основной приведенной погрешностью измерений не хуже  $\pm 2,5$  %.

Имелись:

1. термоэлектрический преобразователь типа «L» (ТХК), класса допуска 2, с диапазоном измерений от –200 °С до 800 °С и выходом по напряжению от –9,488 мВ до 66,466 мВ, согласно [1] и [5], и предельной допустимой основной приведенной погрешностью измерений  $\pm 0,75$  % от измеряемой температуры, согласно паспорту;
2. ККИС ИВК ММП с асимметричным диапазоном измерений от –25 мВ до 75 мВ:
  - БК для распределения электрических измерительных сигналов по АПК ИВК ММП (предельная допустимая основная приведенная погрешность

$\gamma_{БК}$ , вносимая БК, составляет  $\pm 0,05$  % от измеряемой температуры, согласно паспорту);

- барьер безопасности типа РИФ-П 1196DIN для обеспечения искробезопасности измерительных цепей ИК (предельная допустимая основная приведенная погрешность  $\gamma_{РИФ}$ , вносимая барьером безопасности, составляет  $\pm 0,05$  % от измеряемой температуры, согласно паспорту);
  - УСС типа LE-75U предназначенное для раздвоения входного аналогового сигнала (предельная допустимая основная приведенная погрешность  $\gamma_{УСС}$ , вносимая УСС, составляет  $\pm 0,1$  % от измеряемой температуры, согласно паспорту);
  - модуль АЦП типа LTR 27 с submodule типа Н-27Т для оцифровки аналоговых измерительных сигналов (предельная допустимая основная приведенная погрешность  $\gamma_{АЦП}$ , вносимая submodule, составляет  $\pm 0,05$  % от измеряемой температуры, согласно паспорту);
3. абсолютная погрешность измерения температуры компенсации «холодного спая» термопары  $\Delta_{хс} = \pm 0,2$  °С;
  4. доверительная вероятность  $P = 0,95$ .

Задача: требовалось теоретически определить, соответствует ли сформированный из имевшихся элементов ИК температуры требованиям ПМ проведения испытаний.

При проведении расчетов было учтено условие, что вклад случайной составляющей погрешности исследованного ИК температуры в его суммарную погрешность приблизительно в 10 раз уступает вкладу систематической составляющей погрешности. Этот факт связан, прежде всего, с тем, что исследованный ИК состоит из достаточно большого числа последовательно подключенных компонентов, погрешность каждого из которых постоянно вносит свой систематический вклад в суммарную погрешность всего ИК температуры. В связи с этим при проведении представленных ниже расчетов случайная составляющая погрешности ИК температуры считалась пренебрежимо малой по сравнению с ее систематической составляющей.

Суммарная погрешность измерения параметра рассчитывалась по погрешностям компонентов ИК параметра (первичного преобразователя, ККИС ИВК ММП измерения электрического измерительного сигнала).

Так как диапазоны измерений термоэлектрического преобразователя и ККИС ИВК ММП не совпадают, то в соответствии с [3], суммарная погрешность исследуемого ИК температуры рассчитывалась следующим образом:

- 1) Суммарная основная приведенная погрешность ККИС ИВК ММП составила:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{ККИС}} &= \gamma_{\text{БК}} + \gamma_{\text{РИФ}} + \gamma_{\text{УСС}} + \gamma_{\text{АЦП}} = \\ &= 0,05 + 0,05 + 0,05 + 0,1 = 0,25\%, \end{aligned} \quad (2)$$

2) Абсолютная погрешность датчика температуры:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{датч}} &= \frac{|X_{\text{в}} - X_{\text{н}}| \cdot \gamma_{\text{датч}}}{100\%} = \\ &= \frac{|600 - 400| \cdot 0,75\%}{100\%} = 1,5^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (3)$$

3) Суммарная абсолютная погрешность ККИС ИВК ММП:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{ККИС}} &= \frac{|X_{\text{в}} - X_{\text{н}}| \cdot \gamma_{\text{ККИС}}}{100\%} = \\ &= \frac{|75 - (-25)| \cdot 0,25\%}{100\%} = 0,25 \text{ мВ} \end{aligned} \quad (4)$$

4) Пересчет  $\Delta_{\text{ККИС}}$  из единиц измерения электрического сигнала с датчика температуры (мВ) в единицы измерения измеряемой физической величины ( $^{\circ}\text{C}$ ) производился по полиномам, аппроксимирующим зависимость значений температур рабочих концов термопары от значений ее ТЭДС при температуре свободных концов  $0^{\circ}\text{C}$ , согласно [1] и [5]:

$$\Delta_{\text{ККИС}} = \sum_{i=0}^9 C_i E^i = 3,9^{\circ}\text{C}, \quad (5)$$

$$E = 0,25 \text{ мВ}, \quad (6)$$

5) Суммарная абсолютная погрешность исследуемого ИК рассчитывалась по формуле:

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{ИК}} &= k * \sqrt{\Delta_{\text{датч}}^2 + \Delta_{\text{ККИС}}^2 + \Delta_{\text{хс}}^2} = \\ &= 1,1 * \sqrt{1,5^2 + 3,9^2 + 0,2^2} = 4,6^{\circ}\text{C} \end{aligned} \quad (7)$$

Коэффициент  $k = 1,1$  в связи с заданной доверительной вероятностью  $P = 0,95$ , согласно [3].

6) Пересчет суммарной абсолютной погрешности ИК температуры в приведенную к диапазону измерений параметра:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{ИКПАР}} &= \frac{\Delta_{\text{ИК}}}{|X_{\text{в.пар}} - X_{\text{н.пар}}|} \cdot 100\% = \\ &= \frac{4,6}{600 - 400} \cdot 100\% = 2,3\% \end{aligned} \quad (8)$$

Вывод: сформированный из имевшихся элементов ИК температуры соответствует требованиям ПМ проведения испытаний.

### Заключение

В процессе теоретической проверки ИК температуры на основе термоэлектрического преобразователя на соответствие требованиям ПМ проведения испытаний были изучены устройство и принцип работы ИК температуры на основе термоэлектрического преобразователя в составе ИИС В2, собраны априорные данные об основных метрологических характеристиках компонентов ИК температуры на основе термоэлектрического преобразователя, проведены теоретические расчеты погрешностей ИК температуры на основе хромель-копелевой термопары.

Проведенные расчеты теоретически подтвердили, что используемый в ИИС В2 ИК температуры на основе хромель-копелевой термопары соответствует требованиям ПМ проведения испытаний, обеспечивая высокую точность измерений температуры.

Представленные расчеты были впервые проведены на ФКП НИЦ РКП именно студентами МГТУ им. Н.Э. Баумана. Расчеты позволяют теоретически оценить экспериментально установленное соответствие или несоответствие ИК температуры требованиям ПМ проведения испытаний. Причем абсолютно не имеет значения, какой термоэлектрический преобразователь будет лежать в основе ИК температуры, какова будет ПМ проведения испытаний, и из каких компонентов будет состоять ИК температуры. Это становится особенно актуально, если учесть то, что на многих предприятиях, как оказывается, до сих пор пользуются лишь экспериментальными методами оценки погрешностей ИК без какой-либо теоретической проверки полученных результатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 8.585-2001 «Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования».
2. ГОСТ 6651-2009 «Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний».
3. ГОСТ Р 8.736-2011 «Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения».
4. Перцовский, М.И. «Система информационно-измерительная стенда В2. Руководство по эксплуатации». 25/ПР/11/0844/7-2 ИИС.РЭ: 000 «Лаборатория автоматизированных систем (АС)». — 118–121 с.
5. Рогельберг, И.Л. «Сплавы для термопар». 1983 — 55–64 с.

© Куракин Владимир Андреевич (fromkurakin@mail.ru); Потоцкий Даниил Эдуардович; Годнев Александр Геннадьевич

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ АВИАКОМПАНИЕЙ ПОСРЕДСТВОМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

## FEATURES OF AUTOMATION OF DECISION-MAKING PROCESSES IN AIRLINE MANAGEMENT THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

*Yu. Lebedeva*

*Summary.* The article discusses the features of automation of decision-making processes in the management of an airline through artificial intelligence technologies. The relevance of automation of decision-making processes is substantiated. Examples of implemented artificial intelligence technologies are considered. He pays special attention to machine learning and data analysis. The tasks in the work of the airline, which can be solved with the help of artificial intelligence technologies, are highlighted. It is concluded that the decision-making process in the airline management system based on artificial intelligence technologies should be based on obtaining primary data and aimed at improving operational efficiency, increasing customer satisfaction and achieving business results.

*Keywords:* decision making, airline, artificial intelligence, machine learning, chatbot, analytics.

**Лебедева Юлия Степановна**

Аспирант, Московский государственный университет технологии и управления имени К.Г. Разумовского  
yulia.lebedeva.asp@gmail.com

*Аннотация.* В статье рассматриваются особенности автоматизации процессов принятия решений в управлении авиакомпанией посредством технологий искусственного интеллекта. Обоснована актуальность автоматизации процессов принятия решений. Рассмотрены примеры внедренных технологий искусственного интеллекта. Особое внимание уделяет машинному обучению и анализу данных. Выделены задачи в работе авиакомпании, которые можно решить с помощью технологий искусственного интеллекта. Сделан вывод о том, что процесс принятия решений в системе управления авиакомпанией на основе технологий искусственного интеллекта должен быть основан на получении первичных данных и направлен на улучшение операционной эффективности, увеличение удовлетворенности клиентов и достижение бизнес-результатов.

*Ключевые слова:* принятие решений, авиакомпания, искусственный интеллект, машинное обучение, чат-бот, аналитика.

В современном быстро развивающемся технологическом пространстве автоматизация стала ключевым фактором повышения эффективности и производительности в различных отраслях. Одной из областей, где автоматизация позволяет оптимизировать различные процессы и операции, являются процессы принятия решений в системе управления. С помощью применения технологий искусственного интеллекта компании могут оптимизировать операции, повысить безопасность, улучшить взаимодействие с клиентами и оптимизировать распределение ресурсов.

Сфера деятельности авиакомпаний постоянно развивается сфер. Основными факторами влияния на динамику их развития оказывают тенденции в работе мировых авиакомпаний, IT-технологии и потребность в автоматизации различных операций [3]. Например, Delta Airlines создала программу «Delta Edge», которая оптимизирует назначение задач по техническому обслуживанию, чтобы минимизировать задержки и отмены рейсов. Это позволило значительно улучшить операционную эффективность авиакомпании.

Lufthansa разработала программу аналитики данных для оптимизации потребления топлива, использования экипажа и графиков техобслуживания, что позволило им снизить затраты и улучшить общую операционную производительность.

United Airlines использует алгоритмы машинного обучения, чтобы оптимизировать графики техобслуживания своих самолетов — это приводит к улучшению надежности и снижению затрат на техобслуживание.

Управление AirAsia основано на предиктивной аналитике и машинном обучении для улучшения ценообразования и управления доходами, что способствует увеличению выручки и улучшению прибыльности авиакомпании.

Southwest Airlines использует анализ данных для улучшения работы с пассажирами, например, прогнозирую нарушения в расписании рейсов и предлагая пассажирам заранее перебронировать билеты.

В целом, примеры уже внедренных технологий автоматизации в авиакомпаниях указывают на активный

рост использования искусственного интеллекта, в частности, машинного обучения и аналитики данных, чтобы улучшить процессы принятия решений и повысить общую операционную эффективность, что в целом способствует повышению надежности, снижению затрат и улучшению работы с клиентами. При этом особую роль играет машинное обучение, используемое для поддержки процесса принятия решений путем создания моделей, способных анализировать большие объемы данных и предоставлять информацию для принятия решений. Модели машинного обучения учатся на данных и могут обнаруживать закономерности, делать прогнозы на основе выявленных данных. В некоторых случаях машинное обучение может полностью заменить принятие решений человеком, например, в автоматизированных торговых системах, которые принимают решения на основе реальных финансовых данных. В других случаях машинное обучение позволяет дополнять принятие решений человеком, предоставляя дополнительную информацию и рекомендации для поддержки и информирования процесса принятия решений [2].

Модели машинного обучения могут обучаться с использованием разных алгоритмов, включая привлечение учителя (модель обучается на размеченных данных), обучение без учителя (модель обучается на неразмеченных данных) и обучение с подкреплением (модель учится, взаимодействуя с окружающей средой и получая обратную связь на свои действия) [10].

Следует отметить, что машинное обучение и процесс принятия решений связаны тем, что машинное обучение может использоваться для поддержки, дополнения или замены принятия решений человеком путем анализа больших объемов данных и предоставления информации для принятия решений. Таким образом, искусственный интеллект (ИИ) способен решать различные проблемы, с которыми сталкиваются авиакомпании в своих управленческих процессах.

К. Kolasa-Sokołowska отмечает, что в связи с увеличением числа людей, путешествующих по воздуху, пассажиропоток на аэропорту растет, и проблема посадки и высадки пассажиров имеет огромное влияние на городское движение. Сложность заказа такси в аэропорту по-прежнему остается актуальной проблемой в обществе. В работе автора представлены математические методы, такие как уравнение функции, алгоритм нейронной сети обратного распространения ошибки и теория очередей, использовались для создания полной модели принятия решений водителей такси и модели оптимизации эффективности диспетчеризации в аэропорту. Автором был сделан вывод, что распределение ресурсов такси в аэропорту должно тесно связываться с доходом водителей и организацией маршрутов аэропорта [7].

S. Khan et al. [7] продемонстрировали, что обучение с подкреплением (Reinforcement learning: RL) может быть использовано в приложениях, связанных с доходами. Обучение с подкреплением является областью машинного обучения, которая занимается тем, как агенты предпринимать действия для оптимизации долгосрочной награды путем взаимодействия с окружающей средой, в которой они находятся, в частности, автономные автомобили и компьютеры, играющие в игры с сверхчеловеческой производительностью. Одним из основных преимуществ такого подхода является отсутствие необходимости явно моделировать характер взаимодействия с окружающей средой. Авторы представили новую систему управления доходами авиакомпании (Revenue Management System, RMS) на основе RL, которая не требует прогнозирования спроса и объединяет предметные знания с глубокой нейронной сетью, обученной на графических процессорах. Возможности нового поколения RMS заключаются в том, что они могут автоматически учиться, взаимодействуя непосредственно с клиентами.

Исследование O. Basturk, C. Cetek [4] основано на использовании алгоритмов машинного обучения для прогнозирования предполагаемого времени прибытия (ETA) воздушных судов. Точный прогноз ETA важен для управления задержками и потоком воздушного движения, назначения взлетно-посадочных полос, назначения гейтов, совместного принятия решений (CDM), координации персонала на земле и оборудования и оптимизации последовательности прибытия и так далее. Машинное обучение способно учиться на опыте и делать прогнозы с слабыми предположениями или без них вообще. В предложенном авторами подходе общая информация о полете, траекторные данные и метео данные, получаемые из разных источников в различных форматах, преобразуются в единый формат и встраиваются в систему управления, которая способна обучаться и прогнозировать ETA с абсолютной средней ошибкой (MAE) менее 6 минут после вылета и менее 3 минут после входа в область маневрирования терминала (TMA).

Рассмотрим примеры внедрения машинного обучения и аналитики данных авиакомпаниями с целью улучшения процессов принятия решений.

Тем не менее существуют некоторые сложности в управлении данными. Анализ исследований N. Balasubramanian, Y. Ye, M. Xu [2], L.K. Hassan, B.F. Santos, J. Vink [5], M. Paolanti, E. Frontoni [8] показал, что основными проблемами при внедрении автоматизации процессов принятия решений в систему управления авиакомпанией:

- Интеграция данных: успешная автоматизация зависит от интеграции данных из различных источников внутри экосистемы авиакомпании, включая безопасные операции, обслуживание и данные о клиентах.

- Интеграция систем: автоматизация процессов принятия решений требует интеграции автоматизированных систем с существующей инфраструктурой и устаревшими системами.
- Человеческий фактор: хотя автоматизация может ускорить процессы принятия решений, контроль со стороны специалиста остается крайне важным в сложных и нестандартных ситуациях.

Изложенные авторами предложения по автоматизации процессов принятия решений в авиакомпаниях позволяют решить следующие задачи [9]:

1. Прогнозирование спроса на различные маршруты в разные периоды времени что позволяет авиакомпаниям оптимизировать графики рейсов, эффективно распределять ресурсы и увеличить доходность.
2. Планирование и составление графиков работы экипажа, учитывая нагрузку, квалификацию персонала.
3. Планирование мероприятий по обслуживанию авиапарка с учетом данных, полученных до, во время и после полета, что позволит правильно рассчитать производительность оборудования, минимизировать время простоя и оптимизировать использование ресурсов для обслуживания.
4. Оптимизация маршрутов позволяет рассчитать расход топлива, погодные условия, ограничения воздушного пространства и заторы в аэропортах.

5. Персональный подход к клиентам авиакомпании. Чат-боты и виртуальные ассистенты, основанные на искусственном интеллекте, способны обрабатывать запросы клиентов, предоставлять информацию о рейсах в режиме реального времени, помогать с бронированием и выбором мест, а также предлагать персонализированные рекомендации.
6. Обработка и отслеживание багажа: способность ИИ автоматизировать процессы поступления багажа, включая его сортировку, маршрутизацию и отслеживание путем использования компьютерного зрения и машинного обучения.
7. Выявление мошенничества и обеспечение безопасности посредством анализа больших объемов данных, включая профили пассажиров, возможности бронирования и историю транзакций, для выявления аномалий и идентификации потенциальных случаев мошенничества или угроз безопасности.

В целом процесс принятия решений в системе управления авиакомпанией на основе технологий искусственного интеллекта должен быть основан на получении первичных данных и направлен на улучшение операционной эффективности, увеличение удовлетворенности клиентов и достижение бизнес-результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голомазов А.В. Метод информационной поддержки принятия решений, реализуемый в среде мультиагентной системы //Труды МАИ. 2019. №. 106. С. 14.
2. Balasubramanian N., Ye Y., Xu M. Substituting human decision-making with machine learning: Implications for organizational learning //Academy of Management Review. 2022. Т. 47. №. 3. С. 448–465.
3. Basturk O., Cetek C. Prediction of aircraft estimated time of arrival using machine learning methods //The Aeronautical Journal. 2021. Т. 125. №. 1289. С. 1245–1259.
4. Bondoux N. et al. Reinforcement learning applied to airline revenue management //Journal of Revenue and Pricing Management. 2020. Т. 19. №. 5. С. 332–348.
5. Hassan L.K., Santos B.F., Vink J. Airline disruption management: A literature review and practical challenges //Computers & Operations Research. 2021. Т. 127. С. 105137.
6. Khan S. et al. Application of robotic process automation (RPA) for supply chain management, smart transportation and logistics // International Journal of Health Sciences. 2022. С. 11051–11063.
7. Kolasa-Sokołowska K. Artificial intelligence and risk preparedness in the aviation industry // Regulating Artificial Intelligence in Industry. Routledge, 2021. С. 114–126.
8. Paolanti M., Frontoni E. Multidisciplinary pattern recognition applications: A review // Computer Science Review. 2020. Т. 37. С. 100276.
9. Pérez-Campuzano D. et al. Artificial Intelligence potential within airlines: a review on how AI can enhance strategic decision-making in times of COVID-19 //Journal of Airline and Airport Management. 2021. Т. 11. №. 2. С. 53–72.
10. Qian Y. et al. A decision-making model using machine learning for improving dispatching efficiency in Chengdu Shuangliu airport // Complexity. 2020. Т. 2020. С. 1–16.

# ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ

Ma Цзяхуэй

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова  
ytdt64576@163.com

## THE POSSIBILITIES OF USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VARIOUS FIELDS OF ACTIVITY IN ORDER TO IMPROVE WORK EFFICIENCY

Ma Jiahui

*Summary.* The article discusses issues related to the possibilities of using artificial intelligence in various fields and fields of activity in order to improve work efficiency. The purpose of the study is to study the use of artificial intelligence in various fields of activity in order to improve work efficiency. In carrying out this study, the following methods were used: analysis, comparison, decision-making, logical reasoning and many others. The author of the article emphasizes the importance of using artificial intelligence in various fields of activity. The definition of the concept of «artificial intelligence» is considered. The main goals of artificial intelligence have been studied. Illustrative examples of the use of artificial intelligence in Russia and abroad are given. It is noted that the purpose of artificial intelligence technology is to simulate human speech, imaginative and analytical thinking. The basic principles concerning AI technologies are considered. The areas in which artificial intelligence is actively used have been studied. The advantages and disadvantages of using artificial intelligence in modern conditions are noted. The influence of artificial intelligence on the economies of countries has been studied. The experience of using artificial intelligence in Russia is considered. The author of the article concludes that there is a huge potential for the use of modern artificial intelligence technologies in various fields and fields of activity. This will help to achieve high efficiency in work, as well as reduce risks and threats to economic security in general.

*Keywords:* artificial intelligence; opportunities; use; prospects; efficiency; activity.

*Аннотация.* В статье рассматриваются вопросы, связанные с возможностями использования искусственного интеллекта в различных сферах и областях деятельности с целью повышения эффективности работы. Цель исследования — изучить вопросы использования искусственного интеллекта в различных сферах деятельности с целью повышения эффективности работы. При проведении данного исследования были использованы следующие методы: анализа, сравнения, принятия решений, логического рассуждения и многие другие. Автор статьи подчеркивает важность применения искусственного интеллекта в различных сферах деятельности. Рассмотрено определение понятия «искусственный интеллект». Изучены главные цели искусственного интеллекта. Приведены наглядные примеры использования искусственного интеллекта в России и за рубежом. Отмечено, что целью технологии искусственного интеллекта является имитация человеческой речи, образного и аналитического мышления. Рассмотрены базовые принципы, касающиеся технологий ИИ. Изучены сферы, в которых активно применяется искусственный интеллект. Отмечены преимущества и недостатки применения искусственного интеллекта в современных условиях. Изучено влияние искусственного интеллекта на экономику стран. Рассмотрен опыт применения искусственного интеллекта в России. Автор статьи делает вывод, что имеется огромный потенциал для использования современных технологий искусственного интеллекта в различных областях и сферах деятельности. Это поможет достичь высокой эффективности в работе, а также снизить риски и угрозы экономической безопасности в целом.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект; возможности; использование; перспективы; эффективность; деятельность.

**Цель:** Цель исследования — изучить вопросы использования искусственного интеллекта в различных сферах деятельности с целью повышения эффективности работы.

**Методы:** Основные методы исследования: метод анализа, сравнения, принятия решений, логического рассуждения и многие другие.

**Результаты:** Изучены вопросы использования искусственного интеллекта в различных сферах деятельности с целью повышения эффективности работы. Сделаны выводы о целесообразности его применения в различных областях. Оценены преимущества и недостатки.

**Выводы:** Проанализировав вопросы использования искусственного интеллекта в различных сферах деятельности с целью повышения эффективности работы удалось выяснить, что данные технологии имеют свою специфику и особенности применения, плюсы и минусы. Грамотный подход со стороны специалистов к процессу управления позволят добиться успеха в производственно-хозяйственной деятельности, достичь максимальных результатов в краткосрочной и долгосрочной перспективе.

### Введение

Современный мир быстро меняется, и новые технологии становятся все более и более востребованными

в различных отраслях и сферах деятельности человека и общества. Не исключением является использование искусственного интеллекта в производстве, экономике, политике, здравоохранении, образовании и т.д.

Искусственный интеллект (ИИ) — это совокупность технологий, которые позволяют компьютерным системам разбираться в сложных данных, обучаться на основе опыта и принимать решения, сравнимые с человеческими. Эти технологии способны решать различные задачи, от прогнозирования поведения потребителей до оптимизации бизнес-процессов и управления ресурсами [4, с.191].

Основная цель ИИ — повышение эффективности деятельности, облегчение работы, снижение времени на проведение операций.

### Материалы и методы

При проведении исследования использовались труды российских и зарубежных ученых. При проведении данного исследования были использованы следующие методы: анализа, сравнения, принятия решений, логического рассуждения и многие другие.

### Литературный обзор

Вопросы, касающиеся использования искусственного интеллекта в различных сферах деятельности рассматривали многие ученые такие, как В.В. Вербицкая, Е.В., А.В. Романова, И.В. Понкин, С.В. Щурина и другие. Считаю, необходимым продолжить исследование в данном направлении и более подробно изучить отдельные вопросы темы.

В данной статье предпринята попытка изучения вопросов использования искусственного интеллекта в различных сферах деятельности с целью повышения эффективности работы.

### Результаты

В современных условиях развития необходимы новые инструменты и технологии управления различными видами деятельности, без которых невозможно развитие и экономический рост в целом. Считаю, что ИИ может полностью изменить жизнь и работу людей. Использование искусственного интеллекта становится массовым явлением и меняет методы работы бизнеса. Специалисты используют алгоритмы искусственного интеллекта для того, чтобы анализировать и прогнозировать огромные объемы данных, а также чтобы упростить предприятиям задачу принимать более эффективные и разумные решения.

ИИ используется также и для того, чтобы автоматизировать рутинные задачи, что позволяет сотрудникам сконцентрироваться на более сложных и творческих задачах. Различные предприятия и сетевые магазины используют чат-ботов на базе ИИ с целью упрощения ответов на запросы клиентов и освобождения персонала от энергозатратных задач.

Исследования в области искусственного интеллекта проводятся путем изучения человеческого интеллекта и переноса результатов в мир компьютеров. ИИ черпает информацию из огромного множества разных областей и источников. К ним относятся информатика, математика, лингвистика, психология, биология и инженерия. Компьютеры пытаются имитировать человеческий интеллект на основе больших объемов данных, используя методы машинного обучения.

Главные цели искусственного интеллекта прозрачны:

- 1) создать аналитическую систему, которая ведет себя разумно, обучается самостоятельно или под наблюдением человека, делает прогнозы и гипотезы на основе больших объемов данных;
- 2) внедрить человеческий интеллект в машины, создать роботов-помощников, которые могут думать, учиться, понимать и выполнять задачи, а также вести себя как люди.

Следует отметить, что в 1942 году этические законы робототехники впервые изложил Айзек Азимов в романе «Кругосветка»: 1) «Робот или система с искусственным интеллектом не может причинить вред людям своим действием или своим бездействием допустить, чтобы людям был причинен вред»; 2) «Робот должен подчиняться приказам, которые он получает от людей, за исключением тех, которые противоречат Первому закону»; 3) «Робот должен заботиться о собственной безопасности, если это не противоречит Первому и Второму законам».

В 1986 году Айзек Азимов добавил к законам робототехники еще один «нулевой» пункт: «Робот не может причинить вред человеку, пока не докажет, что в долгосрочной перспективе он принесет пользу всему человечеству».

К технологическим принципам искусственного интеллекта относятся: 1) синтезированная речь (компьютеры понимают, анализируют и воспроизводят человеческую речь); 2) человеку уже по силам управлять программами, компьютерами и гаджетами с помощью речевых команд; 3) когнитивные вычисления (изучает и реализует процессы взаимодействия человека и компьютера).

Целью технологии искусственного интеллекта является имитация человеческой речи, образного и аналитического мышления.

Далее считаем необходимым рассмотреть базовые принципы, касающиеся технологий ИИ.

1. Машинное обучение (МО). Принцип развития искусственного интеллекта, который основывается на самообучающихся алгоритмах. Участие человека в этом подходе ограничивается загрузкой массива информации в память машины и постановкой задач.
2. Компьютерное зрение. Используется для распознавания графических изображений и видеоизображений. Машинный интеллект может обрабатывать графические данные, анализировать информацию исходя из окружающей обстановки.
3. Нейронная сеть. Имитирует структуру и функции нервных клеток в живом организме. Это самообучающаяся система. Нейронная сеть — это набор процессоров, выполняющих одну задачу в большом масштабе.
4. Суперкомпьютер — это сеть из множества обычных компьютеров. Данный метод используется для обнаружения закономерностей в огромных массивах информации.

Невозможно представить себе существование искусственного интеллекта без графических процессоров. Программный интерфейс приложения необходим для интеграции искусственного интеллекта в различные программы и устройства. С помощью него можно легко добавить технологию ИИ в любую компьютерную систему.

Рассмотрим сферы, в которых применяется ИИ. В настоящее время происходит постепенное внедрение искусственного интеллекта во все отрасли человеческой деятельности. ИИ помогает облегчить жизнь людей благодаря тому, что он делает привычные программные комплексы интеллектуальными.

Например, в системе здравоохранения и медицины начал активно применяться ИИ. С помощью компьютерных систем ведется учет пациентов, расшифровываются результаты диагностики, например, рентген, ультразвуковое сканирование, компьютерная томография и многое другое медицинское оборудование. Интеллектуальные системы также способны поставить пациенту диагноз по наличию тех или иных симптомов, а также предложить оптимальную схему лечения. Это в свою очередь повышает эффективность работы, разгружает систему здравоохранения и помогает решить вопросы, связанные со здоровьем людей.

Также успешно ИИ применяется в сфере продаж и маркетинга. В последнее время широкое распространение получили онлайн-магазины. С помощью рекламы продавцы предлагают свои товары и услуги. ИИ помогает отслеживать интересы пользователя, на основе которых в дальнейшем и будет моделироваться подходящая

под запросы покупателя реклама. Аналитические системы изучают поведение пользователей, выявляют их покупательские привычки и предлагают релевантные предложения.

ИИ широко применяется в политике. Интеллектуальные машины помогли Бараку Обаме победить на вторых президентских выборах. Для своей предвыборной кампании экс-президент США нанял специалистов, которые использовали возможности интеллектуальных машин, чтобы определить лучший день, персонал и аудиторию для выступлений Обамы. Это позволило добиться значительных успехов.

Промышленность также использует ИИ в своих целях. Так, ИИ анализирует данные различных участков производства и регулирует нагрузку на оборудование. Интеллектуальные машины также прогнозируют изменение спроса в разных отраслях промышленности. Применение данных технологий способствует созданию качественной продукции с меньшей стоимостью и трудозатратами, что также говорит о повышении эффективности деятельности. В энергетическом секторе алгоритмы ИИ используются для оптимизации систем возобновляемой энергии, делая их более эффективными и экономичными [1, с.104].

ИИ охватывает сферу образования и игровую индустрию. Он активно используется создателями игр, а также внедряется в образовательные процессы многих стран. Происходит активная компьютеризация и информатизация образования. Данные технологии способствуют процессу обучения школьников и студентов, а также лиц, проходящих профессиональную подготовку и переподготовку [2, с.393].

Огромное значение имеет использование ИИ в экономике. Один из наиболее значимых преимуществ применения искусственного интеллекта в экономике — это возможность получения более точных прогнозов. Экономические аналитики, используя ИИ, могут получить более точные данные и прогнозы о тенденциях на рынке, что позволяет бизнесу принимать более интеллектуальные решения и снизить уровень рисков. Это могут быть, например, прогнозы темпов роста экономики, изменения курса валюты, анализ динамики продаж и многие другие прогнозы. Еще одним важным преимуществом использования ИИ в экономике является возможность оптимизации процессов. ИИ может быть использован для автоматизации рутинных задач и оптимизации бизнес-процессов. Например, многие компании используют ИИ для управления логистикой и планирования производства, что позволяет снизить издержки и повысить эффективность бизнеса. Автоматизированные системы часто являются надежными и эффективными. И более того, использование ИИ открывает новые возможности для

бизнеса, позволяя реализовать идеи и проекты, которые не были бы возможны без такой технологии. Еще одним важным преимуществом использования искусственного интеллекта в экономике является возможность анализировать большие объемы данных. Искусственный интеллект может анализировать большие объемы данных, выявлять тенденции и важные паттерны, что помогает экономическим аналитикам и менеджерам бизнеса принимать более обоснованные решения. Большие объемы данных могут быть продуктом анализа рынка, клиентской базы, производственных процессов и других областей. Это означает, что на основе этих данных, ИИ может помочь бизнесу сделать предсказания о поведении покупателей, анализировать ситуацию на рынке и разрабатывать рабочие стратегии.

Помимо этих преимуществ, использование искусственного интеллекта в экономике также может увеличить производительность и снизить затраты на производство. Некоторые компании уже используют ИИ для оптимизации цепочки поставок, работы складов и управления запасами. Использование ИИ позволяет бизнесу получать большую прибыль, работать эффективнее, а также сокращать число ошибок и проблем, связанных с производством.

Искусственный интеллект все чаще используется в финансовом секторе для выявления мошенничества и мониторинга транзакций, что помогает предотвратить крупные убытки. Кроме того, ИИ может стимулировать разработку новых продуктов и услуг, улучшая производительность в различных областях.

Помимо основных преимуществ существуют также определенные проблемы сложности использования ИИ.

Главные проблемы, с которыми сталкивается ИИ:

1. Машинное обучение возможно только на основе массива данных. Все допущенные ошибки и неточности в информации негативно влияют на итоговый результат.
2. Ограниченность интеллектуальных систем конкретным видом деятельности. Интеллектуальная система, настроенная на выявление мошенничества в сфере налогообложения, не сможет выявить мошенничество в банковской сфере.
3. Несамостоятельность интеллектуальных машин. Для их поддержания требуется целая команда разношерстных специалистов, а также много ресурсов, материальных вложений и времени.

Рассмотрим какое влияние оказывает ИИ на экономику стран, в которых его создают и как это отражается на эффективности. США являются мировым лидером в сфере развития науки и технологий. Довольно большие денежные средства выделяются из бюджета страны, на раз-

витие технологий искусственного интеллекта. Всего в США 2028 компаний, которые работают в этой области. Экономисты банка GoldmanSachs провели свое исследование в области ИИ и его возможного влияния на экономику и пришли к выводу, что при развитии искусственного интеллекта действительно потерять работу могут только 7 % рабочей силы США. Если взять более большую территорию, на которой распространяется ИИ, для анализа, то становится понятно, что при внедрении ИИ хотя бы в половину компаний ВВП увеличится на 7 %, что соразмерно около \$7трлн. Если говорить про рабочую силу, то немного больше половины (если конкретно, то около 63 %) рабочих ощутит на себе влияние ИИ, которое будет заключаться в большей автоматизации, в ходе чего работники перестанут заниматься монотонной работой, так как им будет доступно более творческое занятие. Для остальных рабочих, которые задействованы в физическом труде, изменения будут не так заметны, только большая автоматизация некоторых аспектов. В любом случае это приведет к уменьшению утомляемости и выгораний от монотонной работы. «Прямые последствия генеративного ИИ для рынка труда в краткосрочном периоде можно назвать негативными, — полагают авторы доклада, экономисты GS Джозеф Бригс и Давеш Коднани. Но в долгосрочном периоде влияние на производительность труда и рост экономики будет положительным» [5, с.125].

Влияние ИИ на экономику стран, в которых он создается, можно рассматривать с двух сторон. ИИ может как помочь улучшить эффективность производства, дать колоссальный толчок в развитии новых технологий, так и вызвать некоторые проблемы, например, сокращение рабочих мест и изменение условий трудовых отношений. Как и с любой новой технологией, важно сбалансировать потенциальную выгоду с гарантией социальной и экономической справедливости.

### Обсуждение

В экономике России искусственный интеллект используется в большом объеме в различных отраслях, таких как машиностроение, сельское хозяйство, медицина, добывающая промышленность, транспортные перевозки и многое другое. Половина рынка крупных компаний нашей страны уже применяют ИИ в своем производстве. Технологические корпорации, исследовательские институты и органы власти широко пользуются возможностями искусственного интеллекта.

Развитие и улучшение ИИ в нашей стране не останавливается и сейчас. Основными движущими силами продвижения являются как государство, так и представители бизнес сферы. Если в 2019–2022 гг. проводилось исследование темы ИИ, знакомство с этой отраслью, то сейчас и в дальнейших планах стоят главные задачи внедрения и распространения искусственного интеллекта

в масштабах страны во все сферы экономики и социального обеспечения населения, с целью улучшения жизни граждан. Уже сейчас можно проследить успешные аналогии зарубежных примеров в нашей стране. Так, например, нейросеть «Kandinsky 2.1» от «Сбера» стала самым популярным сервисом в мире за короткий срок: почти за неделю она достигла 2 млн. пользователей. В дальнейшем «Сбер» вносит в свои планы вложение в искусственный интеллект почти 2 млрд долларов и получить прибыль в 6 млрд долларов. Еще одним выдающимся примером является генеративная нейросеть «Шедевр» от «Яндекса». Еще к достижениям «Яндекса» можно отнести сервис по распознаванию и синтезу речи «Алиса». Компания распространила технологию в массах. На этом деятельность «Яндекс» не останавливается, и они планируют в будущем создание новых разработок, которые смогут конкурировать с продуктами «Google».

Уровень России по сравнению с остальным миром все еще не высок, но вопреки этому экономика развивается в этой индустрии. В 2020 году были предоставлены данные, говорящие о том, что российский рынок вырос, достигнув 291 млн долларов, что превышает доход в 2 раза в сравнении с 2019 годом. Нам может показаться, что почти 300 млн. долларов это огромная сумма и большой успех. Но она составляет всего 0,5 % от объема всего мирового рынка, а его общий объем приравнивается к 58,3 млрд долларов.

### Заключение

Искусственный интеллект — это быстроразвивающаяся область, использование которой открывает множество возможностей. Людям открывается множество сфер применения подобных разработок. В медицине, в сфере продаж, политике, промышленности, игровой индустрии, индустрии развлечений и даже в быту. Это все повышает эффективность, сокращает время на выполнение операций, делает процесс увлекательным и познавательным. Однако, искусственный интеллект может нести в себе и некоторые опасности для человека. В-первых, развитие таких технологий и их влияние на экономику можно рассматривать с двух сторон. Развитие ИИ ведёт к сокращению штатов и полному исчезновению

некоторых профессий, что в какой-то мере повлечёт повышение уровня безработицы. Автоматизация процесса производства значительно облегчит прилагаемый труд, понизит утомляемость и риск выгорания работников, но в то же время и лишит людей привычного им способа заработка. Колоссальное развитие новых технологий, значительное ускорение производства и увеличение его объёмов будет сочетаться с потерей людьми работы и социальными волнениями в краткосрочном периоде. Во-вторых, данная технология несовершенна. Любые неточности в информации сильно влияют на конечный результат. Очень высока цена ошибки. Также ИИ не автономен и предполагает обязательное взаимодействие человека с ним. В-третьих, использование таких технологий очень дорогостоящее. Так, изначально ИИ нужно разработать, развить и обучить. Методы обучения разнообразны, но требуют большого количества разных ресурсов-информации, денег, времени и т. д. Далее для поддержания такой машины или системы требуется целая команда высококвалифицированных специалистов. Стать таким специалистом непросто, также, как и содержать команду таких специалистов. Программы, как правило, очень узкоспециализированные, что означает, что не всегда затраты таких средств будут оправдываться. В-четвертых, первое время в некоторых сферах использование таких дорогостоящих технологий будет доступно далеко не всем, что будет только усиливать социальное неравенство и конфликты в обществе. Кроме того, на беспокойство людей повлияет и стирание границ личной жизни. Уже сейчас можно отслеживать и анализировать каждый шаг онлайн-пользователя, а также время, в которое он занимается своими ежедневными делами. Камеры почти везде, и алгоритмы распознавания лиц легко идентифицируют человека в обществе.

Таким образом, можно сказать, что развитие ИИ — это значимое событие в истории человечества. Однако, оно несёт двойственный характер. То в каком направлении будет развиваться данная технология, то как она внедрится в жизнь человека и общества, все зависит от того, кто ей управляет. Не стоит забывать о возможных опасностях и рисках, которые сопряжены с данной деятельностью и внедрением технологий.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Вербицкая В.В., Соколова Я.А. Применение систем ИИ в управлении предприятием // Материалы МСНК «Студенческий научный форум 2023». 2021. № 8. С. 104–107.
2. Мочалова Я.В. Стратегия развития малого и среднего бизнеса в регионах РФ // Пространственное развитие территорий. Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. 2018. С. 393–396.
3. Романова А.В. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта: правовой анализ, проблемы и перспективы // Молодой ученый. 2022. № 46 (441). С. 319–322.
4. Понкин И.В., Редькина А.И. Искусственный интеллект с точки зрения права // Вестник РУДН. Серия: Юридические науки. № 1. 2018. Том 22. С. 91–109.
5. Шурина С.В., Данилов А.С. Искусственный интеллект как технологическая инновация для ускорения развития экономики // Экономика и управление. № 3. 2019. С. 125–133.

© Ма Цзяхуэй (ytdt64576@163.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ КВАНТОВО-ИНСПИРИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ СИСТЕМ ЛИНЕЙНЫХ УРАВНЕНИЙ

**Масленников Владимир Владимирович**

Российский технологический университет МИРЭА  
vldmsn@yahoo.com

## ASPECTS OF THE PRACTICAL APPLICATION OF QUANTUM-INSPIRED ALGORITHMS FOR SYSTEMS OF LINEAR EQUATIONS

**V. Maslennikov**

*Summary.* The article discusses the features of the practical application of quantum-inspired algorithms in problems of linear algebra. It is determined that these algorithms have an exponential asymptotic acceleration in comparison with the known classical methods for solving problems associated with low-rank matrices. A theoretical analysis of algorithms based on mathematical modeling is carried out, aimed at identifying specific features in their practical implementation in order to determine the characteristics and properties in which quantum-inspired algorithms can outperform existing classical approaches. The study shows that practically quantum-inspired algorithms can achieve a positive effect if a number of conditions are strictly observed: low rank of the input matrix, low condition number, and significantly high dimension of the input matrix.

*Keywords:* quantum-inspired algorithms, linear algebra, approximation, singular value decomposition, Monte Carlo method, complexity estimation of algorithms.

*Аннотация.* В статье рассматриваются особенности практического применения квантово-инспирированных алгоритмов в задачах линейной алгебры. Определяется, что данные алгоритмы имеют экспоненциальное асимптотическое ускорение по сравнению с известными классическими методами решения задач, связанных с матрицами низкого ранга. Проводится теоретический анализ алгоритмов на базе математического моделирования, направленный на выявление специфических особенностей в их практической реализации с целью определения характеристик и свойств, при которых квантово-инспирированные алгоритмы могут превзойти существующие классические подходы. Исследование показывает, что практически квантово-инспирированные алгоритмы могут достигать положительного эффекта при строгом соблюдении ряда условий: низкий ранг входной матрицы, низкое число обусловленности и значительно высокая размерность входной матрицы.

*Ключевые слова:* квантово-инспирированные алгоритмы, линейная алгебра, аппроксимация, сингулярное разложение, метод Монте-Карло, оценка сложности алгоритмов.

### Введение

В современном мире проведение исследований в области квантовых вычислений сопровождается убежденностью научных сообществ в том, что квантовые алгоритмы способны решать узконаправленные и специфические задачи [1] значительно эффективнее, чем подходы и методы классических информационных технологий. Однако граница между парадигмами классических и квантовых вычислений постоянно меняется ввиду периодического появления не только новых квантовых алгоритмов, основывающихся на накопленных знаниях о данной предметной области, но и инновационных классических алгоритмов, которые, по крайней мере, частично базируются на разработках в среде квантовых вычислений [2, 3].

Наиболее актуальной сферой применения квантовых алгоритмов для линейной алгебры является машинное обучение [4]. Эти алгоритмы обычно полилогарифмически масштабируются до заданной размерности, что подразумевает асимптотическое экспоненциальное

ускорение по сравнению с современными классическими методами. В связи с этим возникает значительный интерес к подходу деквантования, который является основополагающим фактором в квантово-инспирированных классических алгоритмах для задач линейной алгебры с сублинейной сложностью [3, 5, 6]. При этом стоит отметить, что алгоритмы деквантования выполняются главным образом для матриц с низким рангом, тогда как физические квантовые вычислительные системы демонстрируют экспоненциальное ускорение в сравнении с классическими алгоритмами для разреженных матричных задач полного ранга, включая квантовое преобразование Фурье, анализ собственных векторов и значений, линейные системы и другие. Таким образом, применение алгоритмов деквантования, например, для таких задач, как инверсия матриц высокого ранга, подразумевает моделирование квантовых вычислительных систем классическими компьютерами с высокой степенью эффективности.

Методики, используемые для определения сложности квантово-инспирированных алгоритмов, при-

водят к ограничениям, предполагающим достаточно большие временные затраты на выполнение данных алгоритмов для практических приложений. Например, доказанная сложность для линейных систем составляет  $\tilde{O}(k^{16}k^6 \|A\|_F^6 / \varepsilon^6)$  [5], а для рекомендательных систем —  $\tilde{O}(k^{12} / \varepsilon^{12})$  [3], где  $A$  — входная матрица,  $\|A\|_F$  — норма Фробениуса матрицы  $A$ ,  $k$  — число обусловленности,  $k$  — ранг матрицы,  $\varepsilon$  — точность алгоритма. Данное наблюдение приводит к следующим вопросам:

1. Являются ли ограничения сложности следствием методик доказательства или они отражают фундаментальное ограничение возможностей квантово-инспирированных алгоритмов?
2. Каким образом квантово-инспирированные алгоритмы функционируют в практическом применении?

Следующие разделы статьи посвящены исследованию квантово-инспирированных алгоритмов для задач линейной алгебры. Проводится теоретический анализ алгоритмов, направленный на выявление потенциальных узких мест в их практической реализации, для идентификации свойств, в которых квантово-инспирированные алгоритмы могут превзойти существующие классические методы.

### Обзор квантово-инспирированных алгоритмов для систем линейных уравнений

Предлагаемое автором описание квантово-инспирированных алгоритмов для систем линейных уравнений представляется в виде отдельных экземпляров более общего метода выборки из векторов, выраженных в терминах разложения по сингулярным значениям (Singular Value Decomposition, далее — SVD) входной матрицы. Далее для обозначения матриц вводятся заглавные буквы, а для обозначения векторов-столбцов — строчные буквы с вертикальной чертой сверху. Например, система линейных уравнений записывается как  $A\bar{x} = \bar{b}$ , где  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$ ,  $\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ ,  $\bar{b} = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T$ .

Рассматриваются задачи следующего вида. Имеется матрица  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  размера  $m \times n$  с SVD:

$$A = \sum_{i=1}^k \sigma_i \bar{u}^{(i)} \bar{v}^{(i)T} \quad (1)$$

Главная цель заключается в том, чтобы отобрать записи  $n$ -мерного вектора относительно распределения вероятностей на основе квадрата длины  $p_x(i) = \frac{x_i^2}{\|x\|^2}$ :

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^k \lambda_i \bar{v}^{(i)} \quad (2)$$

Для систем линейных уравнений  $\bar{x}$  является вектором решения, заданный как  $\bar{x} = A^+b$ , где  $A^+$  — псевдообратная матрица Мура-Пенроуза. В соответствии с [5] коэффициенты  $\lambda_i$  в уравнении (2) задаются скалярным произведением:

$$\lambda_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \langle \bar{v}^{(i)}, A^T \bar{b} \rangle. \quad (3)$$

Квантово-инспирированные алгоритмы предполагают определение элементов матрицы  $A$  таким образом, чтобы обеспечивалось выполнение выборки на основе квадрата длины  $p_x(i)$ , что позволяет выбирать строки матрицы  $A$  с большой нормой. В связи с этим решение задач линейной алгебры квантово-инспирированными алгоритмами осуществляется в три этапа:

1. Выполняется аппроксимация SVD посредством алгоритма Frieze, Kannan и Vempala (далее — FKV) [7, 8] за счёт вычисления приближённых сингулярных значений  $\tilde{\sigma}_i$ , а также приближённых правых сингулярных векторов  $\tilde{v}^{(i)}$ .
2. На основе результатов первого этапа выполняется аппроксимация коэффициентов  $\tilde{\lambda}_i$  с использованием метода оценки Монте-Карло.
3. Используя уравнение (2) и результаты предыдущих этапов, применяется выборка с отклонением для выполнения выборки на основе квадрата длины из приближённых векторов  $\tilde{x} = \sum_{i=1}^k \tilde{\lambda}_i \tilde{v}^{(i)}$ .

Следует отметить, что нововведениями квантово-инспирированных алгоритмов являются именно этапы 2 и 3. На данных этапах процессы оценки коэффициентов и выборки из всех векторов решений выполняются за время  $O(\text{poly}(k, \kappa, \varepsilon, \log n, \log m))$ . При этом в случае со стратегией FKV обычное вычисление коэффициентов и векторов решений из приближённого SVD на первом этапе требует  $O(kn)$  временных затрат. Таким образом, асимптотически квантово-инспирированные алгоритмы достигают экспоненциального асимптотического ускорения от  $O(n, m)$  до  $\text{polylog}(n, m)$  за счёт полиномиальной зависимости от дополнительных параметров.

### Аппроксимация сингулярного разложения

Алгоритм FKV представляет собой подход к вычислению аппроксимаций матриц низкого ранга и является примером рандомизированного метода расчёта приближённых матричных разложений. В соответствии с особенностями вероятностных алгоритмов построения приближённых матричных разложений [9, 10] подразумевается следующая стратегия: предварительная обработка матрицы для расчёта вероятностей выборки, создание выборок из матрицы, использование методов линейной алгебры для постобработки выборок с целью вычисления окончательного приближения.

Основная идея алгоритма FKV состоит в том, что вместо сингулярного разложения большой входной матрицы  $A \in \mathbb{R}^{m \times n}$  строится матрица  $C \in \mathbb{R}^{r \times c}$  меньшего размера путём выборки  $r$  строк и  $c$  столбцов из матрицы  $A$ . Матрица  $C$  фиксирует ключевые свойства матрицы  $A$ , что позволяет выполнять SVD меньшей матрицы  $C$  для получения информации о сингулярных значениях и векторах матрицы  $A$ . Поскольку ранг матрицы  $C$  ограничен его размерностью, данный подход возможен только в тех случаях, когда матрица  $A$  имеет низкий ранг, либо когда достаточно её низкоранговой аппроксимации.

Преимуществом FKV является возможность выполнения алгоритма SVD значительно меньшей матрицы  $C$  исключительно за счёт аппроксимаций сингулярных значений и векторов исходной матрицы  $A$ . Введём обозначение  $\tilde{\sigma}_l$  для сингулярных значений, а также  $\tilde{w}^{(l)}$  для левых сингулярных векторов матрицы  $C$ . Алгоритм FKV напрямую обеспечивает аппроксимацию сингулярных значений с учётом  $\tilde{\sigma}_l \approx \sigma_l$  при  $l = 1, 2, \dots, k$ . Приближённые правые сингулярные вектора  $\tilde{v}^{(l)}$  матрицы  $A$  получаются как:

$$\tilde{v}^{(l)} = \frac{1}{\tilde{\sigma}_l} R^T \tilde{w}^{(l)} \tag{4}$$

Тогда приближённые левые сингулярные вектора  $\tilde{u}^{(l)}$  задаются формулой:

$$\tilde{u}^{(l)} = A \left( \frac{1}{\tilde{\sigma}_l^2} R^T \tilde{w}^{(l)} \right) \tag{5}$$

Качество аппроксимаций [11, 12] FKV зависит от количества  $r$  выбранных строк и  $c$  выбранных столбцов. Ключевая задача состоит в том, чтобы найти такие значения  $r$  и  $c$ , при которых не только получается удовлетворительное качество аппроксимации, но и обеспечивается значительно меньшая сложность вычисления SVD матрицы  $C$  в сравнении со сложностью вычисления SVD исходной матрицы  $A$ . То есть должны соблюдаться соответствующие условия, что  $r \ll m$  и  $c \ll n$ .

Таким образом, допускается сделать утверждение, что FKV является ядром квантово-инспирированных алгоритмов для задач линейной алгебры. Без использования рандомизированного метода вычисления SVD матрицы  $A$  размера  $m \times n$  требуется  $O(\min(m^2n, mn^2))$  временных затрат, а в случае с вычислением SVD матрицы размера  $r \times c$  на основе FKV —  $O(\min\{r^2c, rc^2\})$ . Дополнительно необходимо отметить, что для практических задач, в которых производительность применяемых в них алгоритмов значительно удалена от асимптотического предела [13], предпочтительно вычислять коэффициенты и векторы решений в явном виде на основе уравнений (4) и (5), начиная с приближённого SVD матрицы  $C$  в алгоритме FKV.

**Оценка коэффициентов методом Монте-Карло**

Коэффициенты  $\lambda$  из уравнения (2) в случае линейных систем являются результатом скалярного произведения между векторами, умноженным на степень сингулярных значений. Вычисление аппроксимации этих коэффициентов квантово-инспирированными алгоритмами выполняется на основе оценки Монте-Карло [14, 15, 16]. Для некоторых векторов  $\bar{y}, \bar{z}$  коэффициент  $\lambda$  вычисляется по формуле:

$$\lambda = \langle \bar{y}, \bar{z} \rangle = \sum_{i=1}^n y_i z_i. \tag{6}$$

Принцип оценки скалярного произведения заключается в выполнении выборки на основе квадрата длины одного из векторов. Для этого возьмём вектор  $\bar{y}$ . Зададим случайную величину  $\chi$ , которая принимает значения  $\chi_i = y_i z_i / p_y(i)$ , где индексы  $i$  выбираются из распределения квадрата длины  $p_y(i) = y_i^2 / \|\bar{y}\|^2$ . Тогда ожидаемое значение случайной величины удовлетворяет:

$$\mathbb{E}(\chi) = \sum_{i=1}^n \frac{y_i z_i}{p_y(i)} p_y(i) = \langle \bar{y}, \bar{z} \rangle = \lambda \tag{7}$$

С учётом дисперсии  $\sigma_\chi^2 = \mathbb{E}(\chi^2) - (\mathbb{E}(\chi))^2$  случайной величины  $\chi$  аналогично:

$$\mathbb{E}(\chi^2) = \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i z_i}{p_y(i)} \right)^2 p_y(i) = \|\bar{y}\|^2 \|\bar{z}\|^2 \tag{8}$$

Стратегия оценки коэффициентов  $\lambda$  состоит в том, чтобы взять  $N$  выборок  $\chi^{(1)}, \chi^{(2)}, \dots, \chi^{(N)}$  из  $\chi$  и вычислить несмещённую оценку  $\hat{\lambda} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \chi^{(j)} \approx \lambda$ .

Ошибка в оценке количественно определяется отношением между стандартным отклонением и средним значением оценщика:

$$\epsilon := \frac{\sqrt{D(\hat{\lambda})}}{|\hat{\lambda}|} \tag{9}$$

Дисперсия оценщика равняется  $D(\hat{\lambda}) = \frac{\sigma_\chi^2}{N}$ , тогда точность оценщика составляет:

$$\epsilon = \frac{\sigma_\chi}{|\lambda| \sqrt{N}} \tag{10}$$

Полученный результат означает, что количество выборок  $N$ , необходимое для достижения точности  $\epsilon$  с высокой степенью вероятности, равняется:

$$N = \frac{\sigma_\lambda^2}{\lambda^2 \epsilon^2} = \frac{1}{\epsilon^2} \left[ \frac{\|\bar{y}\|^2 \|z\|^2}{\langle \bar{y}, \bar{z} \rangle^2} - 1 \right] = \quad (11)$$

$$= O\left( \frac{\|\bar{y}\|^2 \|z\|^2}{\epsilon^2 \langle \bar{y}, \bar{z} \rangle^2} \right) = O\left( \frac{1}{\epsilon^2 \cos^2 \theta} \right)$$

где  $\theta$  — угол между векторами  $\bar{y}$  и  $\bar{z}$ .

### Сложность выполнения процесса оценки коэффициентов

Квантово-инспирированные алгоритмы отличаются от алгоритма FKV тем, что выполняют оценку коэффициентов  $\lambda$ , а не вычисляют их непосредственно из приближённого SVD входной матрицы. В связи с этим возникает необходимость в исследовании сложности выполнения процесса оценки коэффициентов. Для  $n$ -мерных случайных векторов ожидаемое значение угла между двумя векторами удовлетворяет условию  $\mathbb{E}\left[\frac{1}{\cos^2 \theta}\right] = n$ , в связи с чем допускается ожидать, что количество необходимых выборок может линейно масштабироваться. В том случае, если  $\frac{1}{\cos^2 \theta} = \text{poly}(m, n)$ , то алгоритм более не имеет требуемой полилогарифмической сложности [17]. При этом важно отметить, что вне зависимости от используемой стратегии оценки коэффициентов, в наиболее негативном случае скалярные произведения векторов не могут быть аппроксимированы за сублинейное время.

Для систем линейных уравнений коэффициенты  $\lambda$ , равняются:

$$\lambda_l = \frac{1}{\sigma_l^2} \langle \bar{v}^{(l)}, A^T \bar{b} \rangle = \frac{1}{\sigma_l} \langle \bar{u}^{(l)}, \bar{b} \rangle \quad (12)$$

В соответствии с [5] стратегия заключается в выражении коэффициентов как  $\lambda_l = \frac{1}{\sigma_l^2} \text{Tr}(A^T \bar{b} \bar{v}^{(l)T})$  и выборке элементов  $A_{ij}$  матрицы  $A$ . В этом случае количество выборок, необходимых для оценки, составляет:

$$N = \frac{1}{\epsilon^2} \left( \frac{\|\bar{v}^{(l)}\|^2 \|A\|_F^2 \|\bar{b}\|^2}{\langle \bar{v}^{(l)}, A^T \bar{b} \rangle^2} - 1 \right) = O\left( \frac{\|\bar{\sigma}\|^2 \|\bar{b}\|^2}{\epsilon^2 \sigma_l^2 \beta_l^2} \right), \quad (13)$$

где  $\bar{\sigma} := (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k)$ ;

$$\beta_l := \langle \bar{u}^{(l)}, \bar{b} \rangle;$$

$$\bar{b} = \sum_{l=1}^k \beta_l \bar{u}^{(l)};$$

$$\|A\|_F^2 = \|\bar{\sigma}\|^2.$$

В отдельных случаях, касаемых рекомендательных систем, коэффициенты пропорциональны скалярному

произведению  $\langle A_l^T, \bar{v}^{(l)} \rangle$ . С учётом  $A_l = \sum_{l'=1}^k \sigma_{l'} u_{l'}^{(l)} \bar{v}^{(l)T}$  получается:

$$\langle A_l^T, \bar{v}^{(l)} \rangle = \sum_{l'=1}^k \sigma_{l'} u_{l'}^{(l)} \langle \bar{v}^{(l)}, \bar{v}^{(l')} \rangle = \sigma_l u_l^{(l)} \quad (14)$$

Тогда количество выборок удовлетворяет:

$$N = \frac{1}{\epsilon^2} \left( \frac{\|A_l^T\|^2 \|\bar{v}^{(l)}\|^2}{\langle A_l^T, \bar{v}^{(l)} \rangle^2} - 1 \right) = O\left( \frac{\sum_{l'=1}^k (\sigma_{l'} u_{l'}^{(l)})^2}{\epsilon^2 \sigma_l^2 u_l^{(l)2}} \right) \quad (15)$$

Определим  $k$ -мерные векторы  $\bar{\sigma} := (\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_k)^T$ ,  $\bar{\mu} := (u_1^{(1)}, u_1^{(2)}, \dots, u_1^{(k)})^T$  и их произведение Адамара  $\bar{v} = \bar{\sigma} \odot \bar{\mu}$  при  $v_l = \sigma_l u_l^{(l)}$ . Из это следует:

$$N = O\left( \frac{\|\bar{v}\|^2}{\epsilon^2 v_l^2} \right) \quad (16)$$

Во всех случаях количество выборок зависит от отношения между квадратом нормы  $k$ -мерного вектора и квадратом  $l$ -го элемента данного вектора. Далее для конкретизированности рассмотрим соотношение  $\frac{\|\bar{\sigma}\|^2}{\sigma_l^2}$ . Наибольшее соотношение имеет место для наименьшего сингулярного значения  $\sigma_{\min}$ , что предполагает:

$$\frac{\|\bar{\sigma}\|^2}{\sigma_{\min}^2} = \frac{\|\bar{\sigma}\|^2}{\sigma_{\max}^2} \frac{\sigma_{\max}^2}{\sigma_{\min}^2} = \frac{\|\bar{\sigma}\|^2}{\sigma_{\max}^2} \kappa^2 \quad (17)$$

Также данное соотношение может являться наибольшим при наименьшем значении  $\sigma_{\max}$ . Это происходит в том случае, когда наибольшие  $k-1$  сингулярные значения равны друг другу. Тогда при условии  $\sigma'_l := \frac{\sigma_l}{\|\bar{\sigma}\|}$ , где  $\|\bar{\sigma}'\| = 1$ , получаем:

$$\|\bar{\sigma}'\|^2 = (\sigma'_{\max})^2 \left( k - 1 + \frac{1}{\kappa} \right) = 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow (\sigma'_{\max})^2 = \frac{1}{k - 1 + \frac{1}{\kappa}} = O(1/k) \quad (18)$$

Из этого следует:

$$\frac{\|\bar{\sigma}\|^2}{\sigma_{\max}^2} \kappa^2 = \frac{1}{(\sigma'_{\max})^2} \kappa^2 = O(k \kappa^2) \quad (19)$$

Установим  $\kappa_\beta := \frac{\beta_{\max}}{\beta_{\min}}$ , где  $\beta_{\max}$  — наибольший и наименьший элементы соответствующих им векторов. Вследствие этого допускается сделать заключение о том, что количество выборок, необходимых для оценки коэффициентов в квантово-инспирированных алгоритмах для линейных систем составляет:

$$N = O\left(\frac{\kappa^2 \kappa^2 \kappa_\beta^2}{\epsilon^2}\right) \quad (20)$$

**Выборка векторов решений**

Этапы аппроксимации SVD и оценки коэффициентов обеспечивают приближённые сингулярные значения  $\tilde{\sigma}_i$  и коэффициенты  $\tilde{\lambda}_i$ . Приближённые правые сингулярные вектора матрицы  $A$  определяются на основе уравнения (4), что позволяет неявно вычислить приближённый вектор решения  $\tilde{x} = R^T \tilde{w}$ , где:

$$\tilde{w} := \sum_{i=1}^k \frac{\tilde{\lambda}_i}{\tilde{\sigma}_i} \tilde{w}^{(i)} \quad (21)$$

Задача состоит в том, чтобы создать выборку из указанных векторов, используя только элементы  $\tilde{w}$  и  $R$ . Квантово-инспирированные алгоритмы достигают этого эффекта при помощи метода выборки с отклонением в несколько этапов:

1. Выбор строки со случайным индексом  $i$ .
2. Выбор столбца с индексом  $j$  из распределения на основе квадрата длины  $q_i(j) = \frac{|R_{ij}|^2}{\|R_i\|^2}$ .
3. Вывод  $j$  с вероятностью  $\frac{|\langle \tilde{w}, R_{\cdot j} \rangle|^2}{\|R_{\cdot j}\|^2 \|\tilde{w}\|^2}$  или повторение выбора  $j$ .

Дополнительно стоит отметить, что ожидаемое число повторений перед выводом столбца с индексом  $j$  составляет

$$\frac{r \|\tilde{w}\|^2}{\sum_{j=1}^n |\langle \tilde{w}, R_{\cdot j} \rangle|^2} = \frac{r \|\tilde{w}\|^2}{\|\tilde{x}\|^2}.$$

**Заключение**

Проведённое исследование показывает, что квантово-инспирированные алгоритмы предполагают получение минимальной ошибки решения для задач с матрицами достаточно высокой размерности. Важно отметить, что для достижения максимальной точности требуется соблюдение условий низкого ранга и низкого числа обусловленности матрицы. По сравнению с ранее известными подходами, такими как алгоритм FKV, квантово-инспирированные алгоритмы отличаются использованием методов оценки коэффициентов и выборки из векторов решений. С одной стороны, прямое вычисление предполагает линейные временные затраты. С другой стороны, методы, основанные на выборках, полилогарифмически масштабируются в зависимости от размерности и сопрягаются с дополнительными полиномиальными издержками в отношении ранга матрицы, числа обусловленности и ошибки в оценке. При этом несмотря на асимптотическое масштабирование, методы для оценки коэффициентов не приводят к значительным улучшениям в рамках практического использования квантово-инспирированных алгоритмов по сравнению с прямыми вычислениями в классических алгоритмах. Таким образом, применение квантово-инспирированных алгоритмов становится целесообразным только для задач с матрицами чрезвычайно высокой размерности. Вместе с тем сложность квантово-инспирированных алгоритмов не зависит от ранга матрицы, что указывает на корректность их работы, в том числе и для задач с матрицами полного ранга.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Quantum Technologies and Society: Towards a Different Spin / Ch. Coenen, A. Grinbaum, A. Grunwald [et al.] // NanoEthics. — 2022. — Vol. 16, No. 1. — P. 1–6. — DOI 10.1007/s11569-021-00409-4. — EDN JKAYUU.
2. Chia, Nai-Hui & Li, Tongyang & Lin, Han-Hsuan & Wang, Chunhao. (2019). Quantum-inspired classical sublinear-time algorithm for solving low-rank semidefinite programming via sampling approaches.
3. Tang, Ewin. (2018). A quantum-inspired classical algorithm for recommendation systems.
4. Масленников, В.В. Интерпретация задач классического машинного обучения в форме квадратичной неограниченной бинарной оптимизации / В.В. Масленников // Научный аспект. — 2023. — Т. 21, № 5. — С. 2722–2733. — EDN AEBTNB.
5. Gilyén, Andrés & Lloyd, Seth & Tang, Ewin. (2018). Quantum-inspired low-rank stochastic regression with logarithmic dependence on the dimension.
6. Maslov, V.P. Submathematics and Tropical Mathematics / V.P. Maslov // Mathematical Notes. — 2021. — Vol. 109, No. 1–2. — P. 241–246. — DOI 10.1134/S0001434621010272. — EDN CFEBLP.
7. Drineas, Petros & Frieze, Alan & Kannan, Ravindran & Vempala, S. & Vinay, V. (2004). Clustering Large Graphs via the Singular Value Decomposition. Machine Learning. 56. 9–33. 10.1023/B%3AMACH.0000033113.59016.96.
8. Frieze, Alan & Kannan, Ravindran & Vempala, Santosh. (1998). Fast Monte-Carlo algorithms for finding low-rank approximations. Journal of the ACM. 51. 370–378. 10.1109/SFCS.1998.743487.
9. Halko, Nathan & Martinsson, Per-Gunnar & Tropp, Joel. (2011). Finding Structure with Randomness: Probabilistic Algorithms for Constructing Approximate Matrix Decompositions. SIAM Review. 53. 217–288. 10.1137/090771806.
10. Kozhisseri, S. Quantum-probabilistic SVD: complex-valued factorization of matrix data / S. Kozhisseri, I.A. Surov // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. — 2022. — Vol. 22, No. 3. — P. 567–573. — DOI 10.17586/2226-1494-2022-22-3-567-573. — EDN NFHAWW.

11. Алищук, А.М. Анализ статистической аппроксимации характеристик многоэлементной системы связи в условиях многолучевого распространения сигнала / А.М. Алищук, М.А. Казакова, А.С. Гвоздарев // Математические методы в технологиях и технике. — 2022. — № 9. — С. 50–54. — DOI 10.52348/2712-8873\_MMTT\_2022\_9\_50. — EDN LCQBBZ.
12. Tan, W.H. MO-NFSA for solving unconstrained multi-objective optimization problems / W.H. Tan, Ju. Mohamad-Saleh // Engineering with Computers. — 2022. — Vol. 38, No. 3. — P. 2527–2548. — DOI 10.1007/s00366-020-01223-4. — EDN XGHQGM.
13. Хлопин, Д.В. О необходимых условиях обгоняющей оптимальности / Д.В. Хлопин // Теория оптимального управления и приложения (ОСТА 2022): материалы Международной конференции, Екатеринбург, 27 июня — 01 2022 года / Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук (ИММ УрО РАН). — Екатеринбург: ИММ УрО РАН; ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2022. — С. 244–248. — EDN НКНУВВ.
14. Саламатин, А.А. Оценка параметров модели процесса сверхкритической флюидной экстракции методом Монте-Карло / А.А. Саламатин, А.С. Халиуллина // Теоретические основы химической технологии. — 2022. — Т. 56, № 1. — С. 72–87. — DOI 10.31857/S0040357121060117. — EDN IQBIRN.
15. Making the most of data: Quantum Monte Carlo postanalysis revisited / T. Ichihba, A.J.W. Thom, V.A. Neufeld [et al.] // Physical Review E. — 2022. — Vol. 105, No. 4. — P. 045313. — DOI 10.1103/PhysRevE.105.045313. — EDN СТWLKP.
16. Confidence intervals for the reliability characteristics via different estimation methods for the power Lindley model / A.S. Yadav, P.K. Vishwakarma, H.S. Bakouch [et al.] // Reliability: Theory & Applications. — 2022. — Vol. 17, No. 4(71). — P. 392–412. — DOI 10.24412/1932-2321-2022-471-392-412. — EDN FWUTKJ.
17. Malyutin, A. Fair division algorithms with a small number of queries / A. Malyutin // Polynomial Computer Algebra: Proceedings of the International Conference, St. Petersburg, 02–07 мая 2022 года. — St. Petersburg: ООО «Издательство ВВМ», 2022. — P. 64–70. — EDN ТТWNTJ.

---

© Масленников Владимир Владимирович (vldmsn@yahoo.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ВЫБОР АППАРАТНОЙ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

**Перепелкин Вадим Юрьевич**

аспирант, Московский государственный университет  
технологий и управления  
(Первый казачий университет),  
vip@rambler.ru

### CHOOSING A HARDWARE PLATFORM FOR MACHINE LEARNING

**V. Perepelkin**

*Summary.* Despite the fact that the basic principles of neural networks were formulated by Warren McCulloch and Walter Pitts back in 1947, today's time can be called as the era of the development of machine learning and artificial intelligence without exaggeration. It is over the past few years that there has been a breakthrough in the development of neural network technologies and their industrial applications. Neural networks have been successfully used in computer vision, natural language processing, building autopilot systems, robotics, etc. To a large extent, all this became possible due to the development of computer technology and the appearance of new hardware platforms that show high performance when handle mathematical operations, which also facilitated to create and train deep neural networks with a large number of layers and neurons. The problem areas of training neural networks and the efficiency of using various hardware platforms by an example of training LeNet-5 neural network with MNIST dataset are considered at the research work.

*Keywords:* machine learning, neural networks, hardware platforms, processors.

*Аннотация.* Не смотря на то что основные принципы работы нейросетей были сформулированы Уорреном Мак-Каллоком и Уолтером Питтсом еще в 1947 году, именно сегодняшнее время без преувеличения можно назвать эрой развития машинного обучения и искусственного интеллекта. Именно за последние несколько лет произошел прорыв в развитии нейросетевых технологий и их промышленного применения. Нейросети стали успешно использоваться в задачах компьютерного зрения, обработки естественного языка, построения автопилотируемых систем, роботостроении и т.д. Во многом все это стало возможным благодаря развитию вычислительной техники и появлению новых аппаратных платформ, которые показывают высокую производительность при выполнении математических операций, что в свою очередь позволило создавать и обучать глубокие нейросети с большим количеством слоев и нейронов. В исследуемой работе рассмотрены проблемные аспекты обучения нейросетей и эффективность использования различных аппаратных платформ на примере обучения нейросети LeNet-5 на датасете MNIST.

*Ключевые слова:* машинное обучение, нейросети, аппаратные платформы, процессоры.

Нейронные сети состоят из множества искусственных нейронов, которые объединяются в слои и взаимодействуют друг с другом. Организация и структура нейросетей могут варьироваться в зависимости от типа решаемой задачи, но существуют базовые компоненты и принципы устройства нейросетей. Основные строительные блоки нейросети — это искусственные нейроны, которые имитируют работу биологических нейронов и обрабатывают информацию. Каждый нейрон принимает входные сигналы, умножает их на соответствующие веса и производит выходной сигнал, который проходит через активационную функцию. Схематично принцип работы искусственного нейрона показан на Рисунке 1.

Нейроны в свою очередь объединяются в слои. Входной слой принимает входные данные, выходной слой выдает результат, а скрытые слои выполняют промежуточные вычисления между входом и выходом. Одним из распространенных типов нейросетей являются полносвязные нейросети. Они состоят из нескольких слоев нейронов, где каждый нейрон в предыдущем слое соединен с каждым нейроном в следующем слое. На Рисунке 2 показан пример полносвязной нейросети с несколькими слоями.

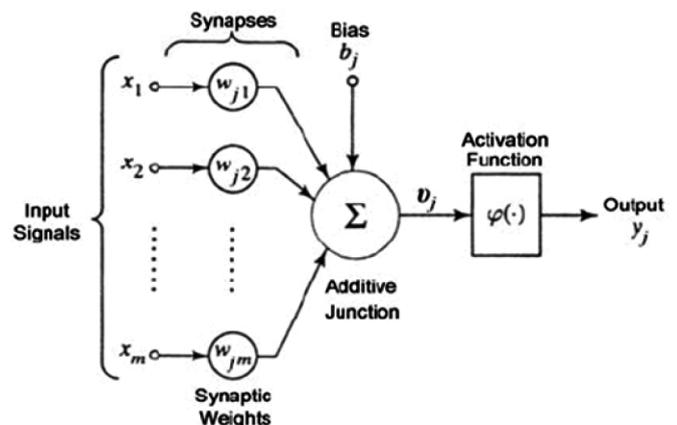


Рис. 1. Принцип работы искусственного нейрона

$$sum = \vec{X}^T \vec{W} + \vec{B} = \sum_{i=1}^n x_i w_i + b_i$$

$$out = \varphi(sum)$$

Каждая связь между нейронами имеет ассоциированный вес, который определяет важность входного сигнала для выходного нейрона. Веса являются параметрами, которые модель обучает в процессе обучения нейросети. До начала обучения веса инициализируются слу-

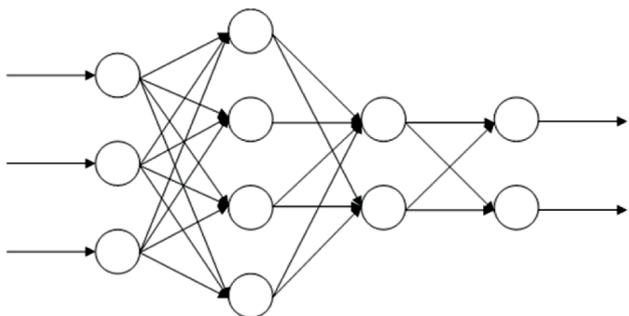


Рис. 2. Полносвязная нейросеть с несколькими слоями случайными значениями. Для проведения обучения нужна обучающая выборка, которая представляет собой датасет из входных и ожидаемых выходных значений. На каждой итерации обучения на вход сети подаются входные данные, а нейросеть генерирует выходные данные ( $y_{predicted}$ ).

$$y_{predicted} = \sum_{i=1}^n x_i w_i = \vec{X}^T \vec{W} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix}$$

В начале обучения генерируемые нейросетью выходные значения будут отличаться от ожидаемых. Для оценки расхождения полученных от ожидаемых значений используется функция ошибки ( $L$ ). Существует несколько наиболее часто используемых функций ошибки, для примера возьмем среднеквадратичную ошибку.

$$L = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{predicted(i)} - y_{expected(i)})^2$$

Задача обучения сводится к минимизации функции ошибки путем корректировки весов нейросети. Для минимизации функции ошибки используется градиентный спуск, который позволяет на каждой итерации обучения корректировать веса в направлении минимума функции ошибки.

$$\vec{w}^{(k+1)} = \vec{w}^k - \mu \nabla L(\vec{w}^k)$$

где:  $k$  — итерация обучения сети;  $\mu$  — шаг обучения;  $\nabla L$  — градиент функции ошибки.

Для нахождения градиента, используются частные производные:

$$\nabla L(\vec{w}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial w_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial L}{\partial w_N} \end{bmatrix}$$

Корректировка весов нейросети в процессе обучения также называется обратным распространением ошибки. Вычисление градиента осуществляется на каждой итерации обучения. Кроме того, обычно обучение на одной и той обучающей выборке повторяется в течение нескольких эпох для повышения качества работы нейросети.

Как видно из формул, параметры нейросети представлены в виде векторов и матриц. Процесс обратного распространения ошибки и корректировки весов нейросети предполагает выполнение большого количества математических вычислений над матрицами, которые требуют большого количества вычислительных ресурсов аппаратной платформы, на которой выполняется обучение. При этом математические операции, выполняемые над матрицами, могут быть легко распараллелены для оптимизации скорости обучения. С учетом постоянного усложнения архитектур и количества обучаемых параметров обучение нейросетей может занимать значительное время. Рассмотрим аппаратные платформы, которые могут быть использованы для обучения нейросетей.

Центральный процессор (CPU) является основным компонентом любого компьютера и предназначен для выполнения самых разнообразных задач, и считается устройством общего назначения. Процессоры состоят из нескольких ядер, которые могут одновременно выполнять несколько инструкций. В общем виде CPU состоит из следующих компонентов:

- Арифметико-логическое устройство (ALU), которое выполняет арифметические (сложение, вычитание, умножение и деление) и логические операции над данными.
- Устройство управления, координирующее работу всех компонентов CPU. Оно извлекает инструкции из памяти, декодирует их и запускает соответствующие операции в ALU и других функциональных блоках.
- Регистры или кэш-память — это быстрая и небольшая память, которая хранит наиболее часто используемые данные и инструкции. Она находится непосредственно на процессоре и предназначена для ускорения доступа к данным, уменьшая задержки чтения из оперативной памяти.
- Шина представляет собой коммуникационный канал, который связывает различные компоненты CPU и позволяет им обмениваться данными и сигналами. Также CPU взаимодействует с оперативной памятью, где хранятся данные и инструкции программы и различными устройствами ввода — вывода.

Основным преимуществом CPU является его гибкость, которая позволяет использовать его для решения

широкого спектра задач, включая вычисления, управление памятью, операции ввода-вывода и выполнение инструкций программы. CPU идеально для подходит для выполнения на нем большинства приложений, которые запускаются на ПК. Платой за универсальность является низкая эффективность CPU для некоторых частных задач. Применительно к задаче машинного обучения узким местом в CPU является взаимодействие с регистрами для чтения и записи данных на каждой итерации выполнения математических вычислений, что отнимает много времени.

Альтернативой использования CPU является использование графических процессоров (GPU). С развитием компьютерных игр и трехмерной графики возникла потребность в быстрой и эффективной обработке графических данных. Такие операции, как рендеринг трехмерных моделей, текстурирование и освещение, требовали выполнения множества параллельных вычислений. Традиционные центральные процессоры (CPU) не могли обеспечить достаточную производительность для этих задач, поэтому появилась необходимость в специализированном устройстве — GPU.

На Рисунке 3 представлено отличие архитектуры CPU от GPU. GPU содержит намного больше ALU, что позволяет более эффективно распараллеливать выполнение математических и логических операций. Подобная архитектура позволяет GPU эффективно справляться со специфическими задачами, связанные с компьютерной графикой, майнингом криптовалют (т.к. предполагает расчет большого количества хешей), но при этом лишена той гибкости, которой обладает CPU. С точки зрения машинного обучения использование GPU позволяет распараллеливать математические операции, что значительно повышает скорость обучения. Но при этом GPU в рамках одного ALU все еще имеет ту же проблему, что и CPU, чтение и запись данных в регистры все также является узким местом.

Еще одной альтернативой является использование тензорных процессоров (TPU). Тензор (термин приме-

няется в сфере машинного обучения) — это математических объект, при помощи которого могут быть представлены векторы и матрицы различной размерности. Разработчиком TPU является компания Google, которая создала аппаратную платформу, адаптированную для решения задач машинного обучения. Основания идея подобных устройств состоит в том, что они, как и GPU, состоят из большого количества ALU, что позволяет распараллеливать математические вычисления. Но в тоже время TPU отличаются от GPU тем, что ALU в TPU соединены напрямую между собой, что позволяет одним ALU получать на вход результаты вычислений других, минуя операции чтения и записи регистров. Подобное технологическое решение устраняет узкое место, связанное с низкой скоростью обмена с регистрами, и с одной стороны позволяет ускорить математические вычисления, а с другой сократить расходы энергии. Также стоит отметить, что компания Google является не единственным разработчиком такого типа устройств, другие ИТ гиганты также имеют своим аппаратные разработки в данной сфере.

Проведем эксперимент по обучению нейросети LeNet-5 на разных аппаратных платформах и замерим время, затрачиваемое на обучение. LeNet-5 является одной из первых сверточных нейронных сетей, была разработана Йаном Лекуном в 1998 году. Эта нейронная сеть была предназначена для распознавания рукописных цифр и стала одним из прорывов в области компьютерного зрения и глубокого обучения. Сеть состоит из 7-ми слоев, 3 сверточных, 2 пулинга и 2 полносвязных. Для обучения используется датасет MNIST, который состоит из 60 000 обучающих изображений. Каждое изображение представляет собой рукописную цифру от 0 до 9 размера 28x28 пикселей в оттенках серого. Сеть LeNet-5 является довольно простой и содержит сравнительно не большое количество обучаемых параметров, что позволяет провести обучение за короткое время.

Обучение проводилось на двух аппаратных платформах: — CPU: Intel Xeon E5-1620v2 3.7GHz. Стоимость на момент написания статьи порядка 70\$.

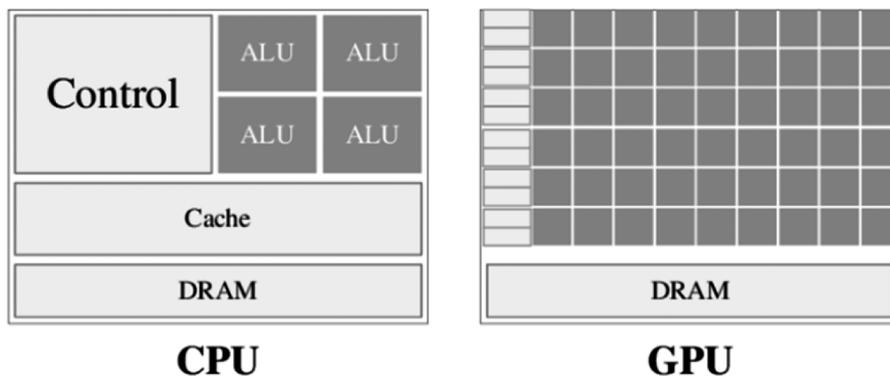


Рис. 3. Сравнение архитектур CPU и GPU

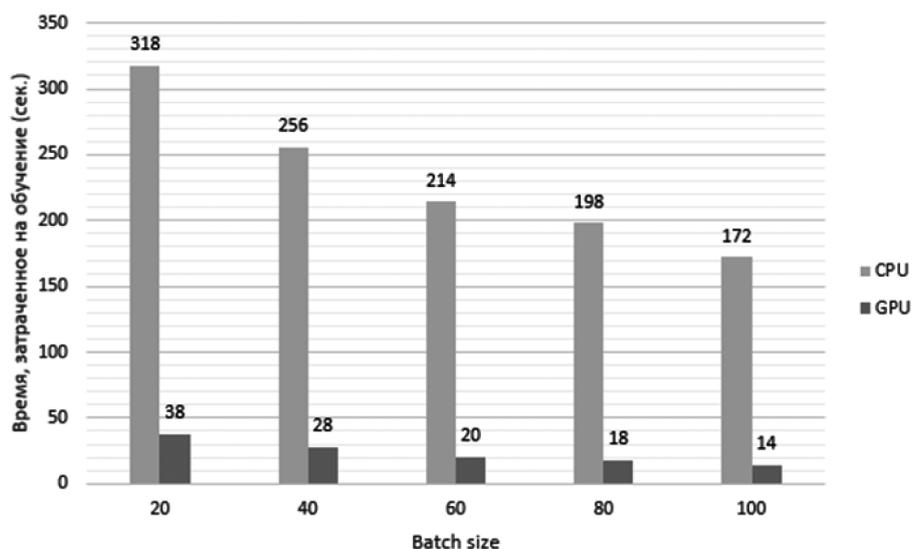


Рис. 4. Время, затраченное на обучение

— GPU: NVidia GeForce RTX 3060 12G. Стоимость на момент написания статьи порядка 230\$.

Обучение проводилось на протяжении 10 эпох с learning rate равным 0.2. Batch size варьировался от 20 до 100 изображений.

На Рисунке 4 показаны результаты эксперимента. По результатам видно, что использование GPU позволило достичь примерно 10 кратного ускорения обучения по сравнению с использованием CPU. Но стоит также отметить, что стоимость двух аппаратных платформ отличается, используемый в эксперименте GPU был где-то в 3 раза дороже чем CPU. Но если аппроксимировать результаты эксперимента с точки зрения затраченного времени и стоимости оборудования, то получим, что использование GPU обеспечивает более низкую стоимость

обучения. При этом использование TPU или других специфических аппаратных платформ для задач машинного обучения позволяет достичь еще большего снижения стоимости обучения за счет увеличения скорости обучения и меньшего потребления энергии. Несмотря на то, что эксперимент проводился на простой LeNet-5, обучение которой занимает мало времени и фактически может проводиться на любом оборудовании, нужно не забывать, что обучение современных нейросетей, которые содержат кратно большее количество обучаемых параметров, может занимать несколько дней и недель. В этом случае использование более эффективной аппаратной платформы позволит значительно снизить время и стоимость, затрачиваемые на обучение. Таким образом выбор аппаратной платформы становится чрезвычайно важным аспектом машинного обучения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Омеляненко, Я. Эволюционные нейросети на языке Python: практическое руководство / Я. Омеляненко; пер. с англ. В.С. Яценкова. — Москва: ДМК Пресс, 2020. — 310 с. — ISBN 978-5-97060-854-8.
2. Raschka, Sebastian Python Machine Learning: Third Edition / Sebastian Raschka, Vahid Mirjalili — Birmingham: Packt Publishing Ltd., 2015. — 741 с.
3. Боресков, А.В. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA: Учебное пособие. 2-е издание. / А.В. Боресков и др. Предисл.: В.А. Садовничий. — М.: Издательство Московского университета, 2015. — 336 с., — ISBN 978-5-19-011058-6.
4. Хеннесси, Д.Л. Компьютерная архитектура. Количественный подход. Издание 5-е. / Д.Л. Хеннесси, Д.А. Паттерсон — Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. — 936 с. — ISBN 978-5-94836-413-1.
5. Жерон, Орельен Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn, Keras и TensorFlow: концепции, инструменты и техники для создания интеллектуальных систем. 2-е издание. / Орельен Жерон; пер. с англ. Ю.Н. Артеменко — СПб: ООО «Диалектика», 2020. — 1040 с. — ISBN 978-5-907203-33-4.

© Перепелкин Вадим Юрьевич (vup@rambler.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ФУНКЦИИ ПРИБЛИЖЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ ЧАСТИЧНО НАБЛЮДАЕМЫХ МАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

**Писарева Наталья Дмитриевна**

Аспирант, Курский государственный университет  
nata.pisareva.96@mail.ru

## VALUE APPROXIMATION FUNCTIONS FOR PARTIALLY OBSERVED MARKOV DECISION PROCESSES

**N. Pisareva**

*Summary.* This paper explores the problem of applying value approximation functions in the context of partially observable Markov decision processes (POMDPs, or POMDPs). POMDPs are a powerful tool for modeling situations in which decision making is based on imperfect information and the possible consequences of those decisions.

*Keywords:* Markov solutions, POMDP, process modeling.

*Аннотация.* В данной работе исследуется проблема применения функций приближения значения в контексте частично наблюдаемых Марковских процессов принятия решения (POMDP, или ЧНМППР). POMDP являются мощным инструментом для моделирования ситуаций, в которых принятие решений основано на несовершенной информации и возможных последствиях этих решений.

*Ключевые слова:* марковские решения, POMDP, моделирование процессов.

**А**ктуальность исследования частично наблюдаемых Марковских процессов принятия решения (POMDP) в настоящее время обусловлена рядом факторов.

Во-первых, современные проблемы и ситуации принятия решений все чаще обусловлены ограниченной доступностью информации и наличием неопределенности. Примеры таких ситуаций можно пронаблюдать в различных областях, например, на финансовых рынках, в сфере риск-менеджмента, смарт-городов, автономных систем и др. POMDP позволяют учесть эти факторы и разрабатывать оптимальные стратегии принятия решений, основываясь на имеющейся, но неполной информации.

Во-вторых, развитие компьютерных технологий и возможностей обработки больших объемов данных создало новые перспективы для применения POMDP. Алгоритмы и методы, основанные на POMDP, позволяют обрабатывать сложные и многомерные данные, а также учитывать динамические изменения состояний системы. Это имеет важное значение в контексте принятия решений в реальном времени и адаптивного управления.

В-третьих, POMDP являются активной областью исследований в математике, теории управления, искусственном интеллекте и других дисциплинах. Усовершенствование методов и подходов к приближению значений в POMDP позволяет создавать более точные и эффективные модели принятия решений. Это, в свою очередь, способствует развитию новых алгоритмов машинного обучения, адаптивных систем и смарт-технологий.

Одной из ключевых задач в рамках POMDP является оценка значения состояний и принятие оптимальных решений на основе имеющейся информации. Тем не менее, точный расчет значений может быть сложным или даже невозможным в плане вычислений из-за размерности состояний и ограничений на доступность информации. В этом смысле функции приближения значения играют важную роль, предлагая эффективные методы аппроксимации значений состояний в POMDP.

### Цель исследования

Целью данного исследования является изучение и анализ различных функций приближения значения для POMDP. Исследование направлено на разработку эффективных методов приближения, которые позволят принимать оптимальные решения в условиях неопределенности и ограниченной доступности информации.

### Проблема исследования

Одной из главных проблем, связанных с POMDP, является сложность определения оптимальных стратегий принятия решений из-за неопределенности и ограниченной информации. Традиционные методы, основанные на полностью наблюдаемых Марковских процессах принятия решений, неэффективны в случае частично наблюдаемых ситуаций. Поэтому необходимо исследовать и разработать новые функции приближения значения, способные учитывать особенности POMDP и преодолеть эти проблемы.

### Метод исследования

Исследование и анализ литературы с помощью баз данных, представленных в открытом доступе.

## Введение

Марковские процессы принятия решений (MDP, или МППР) — это математические модели, которые используются для моделирования ситуаций принятия последовательности решений в условиях неопределенности и стохастичности. Они представляют собой формализованный способ описания последовательности состояний системы и связанных с ними действий, а также оценки их влияния на будущие состояния.

В МППР основной принцип заключается в том, что решения принимаются последовательно в зависимости от текущего состояния системы и стохастических факторов, которые могут влиять на будущие состояния. Ключевой концепцией МППР является модель Маркова, согласно которой будущее состояние системы зависит только от текущего состояния и совершенного действия, а не от всей истории состояний и решений.

МППР находят применение во многих областях, включая экономику, финансы, управление производством, техническую диагностику, управление робототехнологиями и др. Они позволяют моделировать и оптимизировать процесс принятия решений в условиях неопределенности и учитывать различные факторы, включая вероятности перехода из одного состояния в другое, функции стоимости или награды за различные действия, а также ограничения и предпочтения принимающего решения.

Марковские процессы принятия решений условно делятся на полностью наблюдаемые (ПНМППР), где все состояния системы наблюдаются напрямую, и частично наблюдаемые (ЧНМППР), где доступна только неполная информация о состояниях. ЧНМППР представляют особый интерес, т. к. они позволяют моделировать реальные ситуации, где принятие решений основано на ограниченной информации, и требуют разработки специальных методов и алгоритмов для эффективного принятия оптимальных решений.

### Важность функций приближения значений к POMDP

Функции приближения значения для частично наблюдаемых Марковских процессов принятия решения (ЧНМППР) играют важную роль в эффективном принятии решений в условиях ограниченной доступности информации. Ниже перечислены основные сферы их применения:

1. Учет неопределенности: ЧНМППР позволяют учитывать неопределенность в будущих состояниях системы и стохастические факторы, которые могут влиять на принятие решений. Функции приближения значения позволяют оценить по-

тенциальные результаты различных действий и выбрать оптимальное решение, учитывая вероятности и возможные исходы.

2. Ограниченная доступность информации: В реальных ситуациях принятия решений не всегда доступна полная информация о текущем состоянии системы. ЧНМППР дают возможность моделировать такие ситуации, где доступна только неполная информация или наблюдения. Функции приближения значения здесь помогают оценить скрытые состояния системы на основе имеющейся информации.
3. Вычислительная эффективность: Точный расчет значений состояний в ЧНМППР может быть невозможным из-за издержек по доступу к информации. Функции приближения значения предлагают методы аппроксимации, которые позволяют оценить значения состояний системы при разумных вычислительных затратах.
4. Принятие решений в реальном времени: В некоторых ситуациях требуется принятие решений в режиме реального времени. Функции приближения значения позволяют быстро оценить оптимальные решения на основе доступной информации и актуального состояния системы, что особенно важно для систем с высокой динамикой и быстрыми изменениями состояний.

Использование функций приближения значения для ЧНМППР способствует более эффективному принятию решений в условиях ограниченной информации и неопределенности, позволяя учесть различные факторы и выбрать оптимальные стратегии действий. Они являются важным инструментом для моделирования и анализа принятия решений в различных областях, где необходимо учитывать неопределенность и принимать решения в режиме реального времени. Кроме того, функции приближения значения имеют важное значение в разработке алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта.

### Процесс приближения значения для POMDP

Процесс приближения значения для частично наблюдаемых Марковских процессов принятия решения (ЧНМППР) может осуществляться различными методами и подходами, в зависимости от конкретной задачи и доступных ресурсов. Ниже перечислены несколько основных подходов, которые широко используются для этого:

1. Методы динамического программирования: Одним из наиболее распространенных подходов является применение методов динамического программирования, особенно методов итераций по состояниям или по времени. Эти методы позволяют рекурсивно оценивать значения состояний системы на основе имеющейся информации

и предыдущих оценок. Для ЧНМППР используются разные алгоритмы, в т.ч. алгоритм прямого прохода-обратного прохода и алгоритмы сглаживания, которые аппроксимируют и уточняют значения состояний.

2. Методы Монте-Карло: еще одним подходом является использование методов Монте-Карло, которые основаны на случайных выборках для оценки значений состояний. Эти методы генерируют большое количество случайных траекторий системы и на их основе аппроксимируют значения состояний и ожидаемых выигрышей. Примерами таких методов являются методы Монте-Карло с итерацией по политике или по значению.
3. Приближенные методы и алгоритмы: В случае сложных ЧНМППР, когда точное вычисление значений состояний затруднительно или невозможно, могут применяться приближенные методы и алгоритмы. Примерами таких подходов являются методы аппроксимации функций, включая аппроксимацию с использованием базисных функций (например, функций Гаусса или полиномов) и нейронных сетей, а также методы оптимизации, например, методы градиентного спуска или стохастического приближения.

Важно отметить, что для максимальной эффективности процесс приближения значения для ЧНМППР требует тщательного выбора метода и подхода с учетом характеристик системы, доступной информации и требуемой точности оценок.

### Заключение

В данной работе была рассмотрена проблема функций приближения значения для частично наблюдаемых

Марковских процессов принятия решения. Цель исследования заключалась в анализе и обсуждении важности и применения этих функций в контексте ограниченной доступности информации и неопределенности.

В процессе исследования было выявлено, что функции приближения значения играют важную роль в эффективном принятии решений в условиях частичной наблюдаемости. Они позволяют учесть неопределенность будущих состояний системы, ограниченную информацию и принимать решения в режиме реального времени. Они также являются неотъемлемой частью моделирования и анализа систем в различных областях, включая экономику, управление производством, финансы, техническую диагностику и др.

Было выяснено, что процесс приближения значения для ЧНМППР может успешно осуществляться на практике с использованием методов динамического программирования, методов Монте-Карло и приближенных методов. Выбор конкретного метода зависит от характеристик системы, требуемой точности оценок и доступных ресурсов.

Актуальность исследования подтверждается растущим интересом к моделированию и принятию решений в условиях ограниченной информации. Результаты исследования могут быть полезными для разработки новых алгоритмов и методов принятия решений, а также для применения в практических приложениях, где необходимо учитывать стохастические факторы и ограниченную доступность информации. Полученные результаты исследования могут служить основой для дальнейших исследований и разработки новых моделей и алгоритмов в области принятия решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. POMDP: Introduction to Partially Observable Markov Decision Processes; Michael Hahsler and Hossein Kamalzadeh; The R Project for Statistical Computing, 2021.
2. Approximation Methods for Partially Observed Markov Decision Processes (POMDPs); Caleb M. Bowyer; Cornell University, 2021; <https://doi.org/10.48550/arXiv.2108.13965>.
3. Approximations for Partially Observed Markov Decision Processes; Naci Saldi, Tamás Linder, Serdar Yüksel; Systems & Control: Foundations & Applications book series (SCFA), 2018.
4. A primer on partially observable Markov decision processes (POMDPs); Iadine Chadès, Luz V. Pascal, Sam Nicol, Cameron S. Fletcher, Jonathan Ferrer-Mestres; British Ecological Society, Volume 12, Issue 11, November 2021, Pages 2058–2072; <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13692>.
5. Learning and Solving Partially Observable Markov Decision Processes; Guy Shani; Ben-Gurion University of the Negev Department of Computer Science; Dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for Ph.D. degree; 2007.

© Писарева Наталья Дмитриевна (nata.pisareva.96@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКАЖЕНИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ ЗВУКОВОГО ВЕЩАНИЯ ПО МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО СТАТИСТИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ

## RESEARCH OF DISTORTIONS OF THE ENERGY PARAMETERS OF AUDIO BROADCASTING SIGNALS BY THE METHOD OF COMPLEX STATISTICAL ESTIMATION

**O. Popov  
T. Chernysheva  
V. Abramov  
A. Borisov**

*Summary.* It has been shown that passing an audio signal through the links of a transmission path, in which parameters and volume of the signal are transformed, can result in emotional degradation of the sound of informational messages. In addition, the transmission path may introduce an emotional content into the sound information that was not present initially. The quality and completeness of transmission of the audio signal is well evaluated by the nature of changes in its energy parameters. It has been found that objective evaluations of the quality of transmission of these signals in communication channels, which have a strong correlation with subjective evaluations of these signals, can be obtained based on the analysis of the most significant statistical parameters of broadcasting signals. A methodology has been proposed to combine an objective assessment of the sound signal with the results of subjective-statistical measurements, which involves using complex statistical evaluation of the energy parameters of the signal. Such an approach to evaluating the quality of transmission of informational audio signals proves to be quite effective in conditions of various interferences and distortions that operate in transmission channels. Meanwhile, other objective methods of evaluation formed without the involvement of a perceiving human, may prove to be less efficient. An experimental study was conducted on the dependence of changes in statistical parameters of relative mean power of sound signals as they are subjected to various types of distortions and interferences. The study results showed a high correlation between changes in the parameters of relative mean power of signals and their subjective perceptibility. The originality of this research is protected by registered programs and patents as well as various articles in journals. By using the results of this research, it is possible to improve the quality of broadcasting signals and informational programs, as well as to more effectively control and regulate sound broadcasting equipment, thereby increasing the popularity ratings of broadcasting stations and their economic efficiency.

*Keywords:* adaptive sound broadcasting channels, objective and subjective estimation of transmission quality, relative average power complex statistical estimation.

**Попов Олег Борисович**

*к.т.н., профессор, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ)  
olegp45@yandex.ru;*

**Чернышева Татьяна Васильевна**

*к.т.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ)  
krba2012@yandex.ru;*

**Абрамов Валентин Александрович**

*к.т.н., доцент, Московский технический университет связи и информатики (МТУСИ)  
vabramov44@mail.ru;*

**Борисов Андрей Алексеевич**

*аспирант, Московский технический университет связи и информатики» (МТУСИ)  
a.borisov199@gmail.com*

*Аннотация.* Показано, что при прохождении звукового сигнала по звеньям передающего тракта, в которых осуществляется преобразование параметров и объема сигнала, может происходить эмоциональное ухудшение звучания информационных сообщений. Кроме того, передающий тракт может вносить в звуковую информацию не свойственную ей изначально эмоциональное содержание. При этом качество и полнота передачи звукового сигнала хорошо оцениваются характером изменений его энергетических параметров. Выяснено, что на основе анализа наиболее значимых статистических параметров вещательных сигналов могут быть получены объективные оценки качества передачи этих сигналов в каналах связи, имеющие сильную коррелированность с субъективными оценками этих сигналов. В основу методики, позволяющей совместить объективную оценку звукового сигнала с результатами субъективно-статистических измерений, предложено использовать комплексное статистическое оценивание энергетических параметров сигнала. Такое рассмотрение оценок качества передачи информационного звукового сигнала является довольно эффективным в условиях воздействия разнообразных помех и искажений, действующих в каналах передачи. При этом другие объективные методы оценок, сформированные без участия воспринимающего человека, могут проявлять себя как не очень эффективные. Проведено экспериментальное исследование зависимости изменения статистических параметров относительной средней мощности звуковых сигналов от вносимых в сигнал различных видов искажений и помех. Результаты исследования показали высокую корреляцию между изменениями параметров относительной средней мощности сигналов и их субъективной заметностью. Оригинальность данного исследования подтверждена зарегистрированными программами и патентами, а также статьями в различных журналах. Использование результатов данной работы позволяет повысить качество вещательных сигналов и информационных программ, а также более качественно контролировать и регулировать аппаратуру звукового вещания и за счет этого повышать рейтинги популярности вещательных станций, а также повышать экономическую эффективность данных станций.

*Ключевые слова:* адаптивные каналы звукового вещания, объективная и субъективная оценки качества передачи, относительная средняя мощность, комплексное статистическое оценивание.

## Введение

Исследования и разработки в области оценки и контроля качества передачи и приема звуковых информационных сигналов связаны в том числе с существующими способами кодирования и сложного представления цифровых сигналов. Также имеет значение, при оценках качества сигналов, некоторые особенностей восприятия этих звуковых информационных сигналов слушателями. Это связано с тем, что качество звуковых сигналов зависит в том числе от согласованности параметров каналов передачи со свойствами сигнала. Кроме того, это качество в значительной степени определяется степенью согласования параметров звукового информационного сигнала с характеристиками слухового анализатора человека. Результаты таких согласований в значительной степени определяют эффективность и качество передачи звуковых сигналов по существующим каналам связи.

В настоящее время при передаче звуковых вещательных сигналов используются методы, основанные на адаптивной обработке этих сигналов, связанные с изменениями их формы. Однако используемые способы оценки и контроля качества передачи основаны на применении малокомпонентных гармонических тестовых сигналов в условиях отключения всех устройств адаптивной обработки сигнала. Поэтому качество звуковых сигналов, передаваемых по каналам с адаптивной обработкой, приходится определять на основе субъективно-статистических испытаний (ССИ), которые являются достаточно сложными и дорогими.

В связи с этим целью данной работы является разработка метода, открывающего возможность по связыванию оценок качества передачи звуковых сигналов, полученных путем их объективных измерений, с субъективными оценками качества, полученными бригадами экспертов. Данная цель может быть осуществлена, в частности, на основе исследований и оценок энергетических параметров вещательного сигнала.

## Методика проведения исследований

В основу метода, позволяющего связать субъективно-статистические оценки качества с объективными результатами измерений звукового сигнала, было предложено использовать комплексное статистическое оценивание наиболее значимых параметров сигнала. Исследования изменений параметров звуковых сигналов при внесении в них искажений и помех, осуществлялись на основе компьютерных программ. В качестве основного программного набора использовались звуковой редактор *Cool Edit 2000*, а также оригинальные программы и патенты [3, 6, 9, 10].

## Результаты исследований

Известно, что различного рода искажения в звуковых сигналах замечаются слуховым анализатором человека при величинах примерно 2...3 %. При таких искажениях изменяются многие параметры сигнала, в том числе его энергетические характеристики, наиболее успешно определяемые относительной средней мощностью (ОСМ) данного сигнала.

Относительная средняя мощность определяется как отношение измеренной мощности сигнала  $P$  на ограниченном отрезке времени к мощности синусоидального сигнала  $P_0$  с амплитудой, равной наибольшему значению амплитуды вещательного сигнала [1].

Существуют два вида ОСМ в зависимости от значения  $P_0$ . Имеется «канальная» ОСМ (ОСМк), в которой  $P_0$  на длительности фрагмента сигнала соответствует мощности гармонического колебания с амплитудой, равной номинальному уровню сигнала в канале связи или равной максимальному уровню квантования на этом фрагменте. Особенностью канальной ОСМ является то, что она характеризует степень загрузки канала связи. Кроме того, ОСМк дает возможность оценивать диапазон громкости звукового сигнала, а также изменения в параметрах модуляции этого сигнала. В случае же, когда  $P_0$  на длительности фрагмента соответствует мощности гармонического колебания с амплитудой, равной пиковому значению звукового информационного сигнала, то в этом случае имеет место «сигнальная» ОСМ (ОСМс). Особенностью этой сигнальной ОСМ является то, что она характеризует энергетику звукового сигнала. Величины ОСМк и ОСМс во многом определяются временной структурой сигнала в виде звуковых элементов и пауз между ними. При этом, чем меньше пауз будет присутствовать в звуковом сигнале, тем выше будет величина ОСМ. В реальных звуковых вещательных сигналах ОСМ находится в пределах от 0 до 0,4.

Относительная средняя мощность, характеризующая энергию сигнала, остается основным критерием качества для слушателей. При прослушивании абонентом голосовой или музыкальной информации важное значение имеет характеристика энергичности звучания, которая во многом определяет эмоциональное содержание данной информации. Энергичность звучания определяет диапазон изменения громкости содержащегося в звуковом сигнале.

В информационном сообщении его энергичность объективно выражается в изменении параметров канальных ОСМ [1, 2]. Относительная средняя мощность сигнала связана также с динамикой звукового сообщения, которая, в свою очередь, связана с динамическими контрастами сигнала. Так, при звучании симфонического

оркестра это выражается в яркости контраста динамической громкости звучания. А для певцов характерно поддержание динамических оттенков в звучании, что выражается в сравнительно не больших изменениях громкости. При этом появление искажений в виде ослабления громкостной динамики способствует заметному уменьшению воздействия музыки на эмоциональные состояния слушателей. В наибольшей степени, качество и полноту передачи эмоций принято оценивать на голосах великих певцов прошлого, таких как Шаляпин или Карузо. Энергетические параметры сигнала в виде ОСМк, ОСМс очень хорошо характеризуют упомянутую громкостную динамику сигнала [1, 2, 3].

При прохождении звукового сигнала по звеньям передающего тракта, в которых осуществляется преобразование параметров и объема сигнала, может происходить эмоциональное ухудшение звучания информационных сообщений. Кроме того, передающий тракт может вносить в звуковую информацию не свойственную ей изначально эмоциональное содержание [4]. При этом качество и полнота передачи эмоций в звуковом сигнале хорошо оцениваются характером изменений распределений ОСМс [3,4,5].

При появлении в звуковом сигнале различных искажений и помех, то такой параметр относительной средней мощности, как частота появления значений ОСМ, будет изменяться, что позволяет контролировать по характеру этих изменений степень искажений звукового сигнала. Искажения и помехи в виде изменения динамического диапазона или изменения спектра сигнала, а также нелинейных искажений или шумовой помехи будут изменять картину распределения частот появления значений ОСМ. Это выражается, в том числе, в смещении гистограммы по оси значений, увеличении или уменьшении величин максимальных значений частоты появления ОСМ. Кроме того, это выражается в виде расширения или сужение гистограммы распределения, а также в изменениях крутизны фронтов и спадов этого распределения. Для оценки степени изменений гистограммы ОСМс и ОСМк было предложено использовать такую характеристику этой гистограммы как *интегральное отклонение* (ИО) ОСМс и ОСМк. При этом, время интеграции предложено выбрать равным 200 мс, что соответствует времени интеграции слухового анализатора [1].

В основу метода, позволяющего связать субъективно-статистические оценки качества с объективными результатами измерений энергетических параметров звукового сигнала, было предложено использовать *комплексное статистическое оценивание* (КСО) [6, 7, 8]. Это необходимо для того, чтобы в результате такого комплексного статистического оценивания объективно измеряемые параметры звукового сигнала были бы тесно

связаны, с субъективными оценками слушателями качества звучания этого звукового сигнала.

Следовательно, на основе использования *метода комплексного статистического оценивания* (МКСО) можно формировать оценки качества функционирования каналов передачи звуковой информации. При этом, комплексное статистическое оценивание может характеризовать параметры звуковых сигналов и оценивать степень их искажений вследствие воздействия на эти сигналы различных помех в каналах связи с изменяющимися характеристиками.

Объективные результаты статистического оценивания затем привязываются к субъективным оценкам качества, полученных в результате субъективно-статистических испытаний (ССИ), на основе осуществления операции шкалирования. Подобный метод оценки качества передачи информационного звукового сигнала является довольно эффективным в условиях воздействия разнообразных помех и искажений, действующих в каналах передачи. При этом другие объективные методы оценок, сформированные без участия воспринимающего человека, могут проявлять себя как не очень эффективные.

При реализации операции шкалирования, оценки сигналов, сформированных на основе объективных измерений, необходимо соединить с результатами оценок, полученных при субъективно-статистических испытаниях. В качестве параметра, отражающего степень связанности результатов субъективных и объективных испытаний, может использоваться коэффициент корреляции  $r$ .

Для оценки энергетических параметров звукового вещательного сигнала был разработан соответствующий алгоритм и программное обеспечение [3,6,9,10]. Результатом анализа данных энергетических параметров являются нормированные статистические частоты появления значений (НЧПЗ) этих параметров. На основании полученных НЧПЗ затем может быть определено интегральное отклонение (ИО) этих НЧПЗ в виде величин несовпадений частот появления этих параметров сигналов до и после прохождения канала передачи.

Эксперимент проводился на основе мультимедийного вычислительного комплекса. При этом все необходимые введения искажений и помех в звуковые сигналы и исследования параметров этих сигналов, осуществлялись на основе компьютерных программ. Основным программным набором стал звуковой редактор *Cool Edit 2000*, а также использования оригинальных программ и патентов [3, 6, 9,10,11].

При экспериментальном исследовании в звуковой сигнал вносились следующие виды искажений и помех:

ограничение полосы частот, ограничение динамического диапазона, белый шум, нелинейные искажения.

Для оценки изменений сигнала звукового вещания при воздействии на него различных видов искажений и помех было осуществлено исследование сигнальной ОСМ (**ОСМс**) и канальной ОСМ (**ОСМк**).

На рис. 1 и рис. 2 показаны графики зависимости интегрального отклонения ОСМс от частоты ограничения спектра сигнала, соответственно, снизу и сверху. А на рис. 3 и рис. 4 показаны графики зависимости интегрального отклонения ОСМк от частоты ограничения спектра сигнала, соответственно, снизу и сверху.

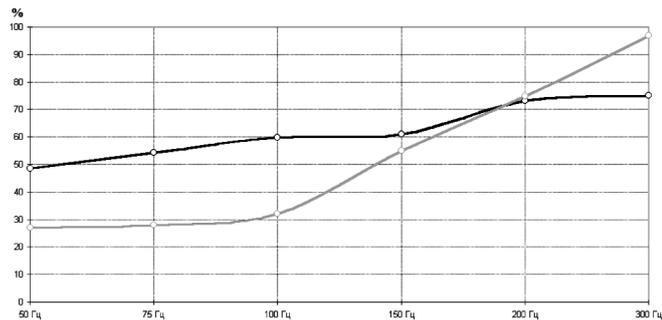


Рис. 1. Интегральное отклонение ОСМс при ограничении спектра сигнала снизу (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

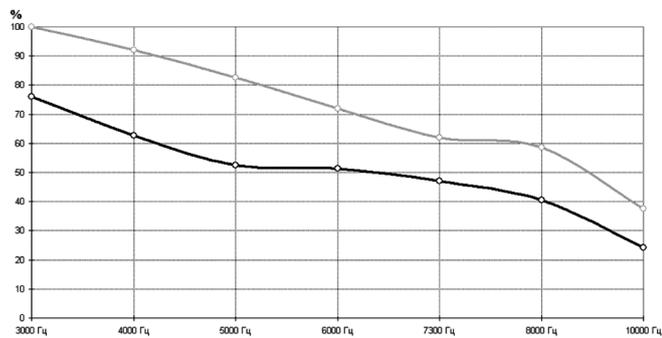


Рис. 2. Интегральное отклонение ОСМс при ограничении спектра сигнала сверху (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

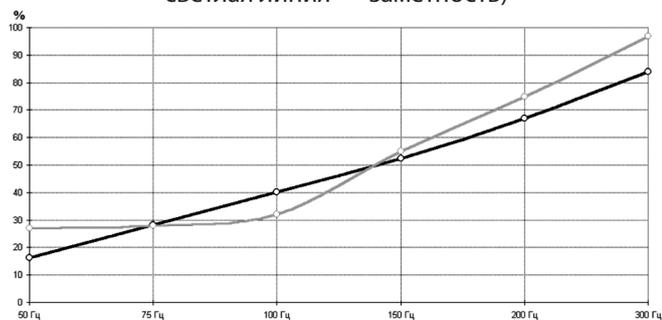


Рис. 3. Интегральное отклонение ОСМк при ограничении спектра сигнала, снизу (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

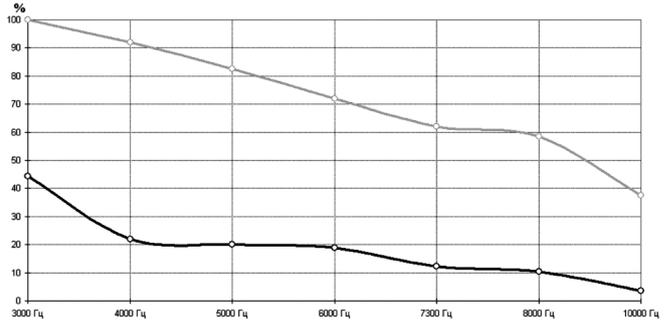


Рис. 4. Интегральное отклонение ОСМк при ограничении спектра сигнала сверху (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

Анализ полученных графиков показывает, что при ограничении спектра звукового сигнала канальная относительная средняя мощность (рис. 3 и рис. 4) коррелирована в несколько большей степени с субъективным восприятием (заметностью) по сравнению с сигнальной относительной средней мощностью. Это можно объяснить тем, что сигнальные ОСМс, довольно чувствительны к шумам при отсутствии сигнала и, поэтому, оказываются более требовательными к выбору параметров временного фрагмента.

Для оценки степени связанности полученных экспериментальных результатов с результатами ССИ использовался коэффициент корреляции (КК). Средний по разным информационным жанрам коэффициент корреляции при ограничении в области НЧ для ОСМс составляет 0,937, а для ОСМк, составляет 0,967. А средний по разным музыкальным жанрам коэффициент корреляции при ограничении в области ВЧ для ОСМс составляет 0,947, а для ОСМк, составляет 0,896.

Высокие показатели коэффициентов корреляции указывают на то, что статистика интегральных отклонений ОСМс и ОСМк при ограничениях спектра сигнала на нижних и верхних частотах могут быть использованы в качестве параметров, хорошо коррелирующих с субъективными оценками восприятия.

На рис. 5 и 6 показаны, соответственно, график зависимости интегрального отклонения ОСМс и ОСМк при воздействии на звуковой сигнал разных значений аддитивного белого шума

Коэффициенты корреляции для ОСМс и ОСМк при воздействии на звуковой сигнал аддитивного белого шума, равны, соответственно, 0,9960 и 0,9901, что свидетельствует об очень высокой степени связанности субъективных и объективных оценок этого сигнала. При этом ОСМс и ОСМк хорошо выявляют степень воздействия шума на звуковой сигнал, поскольку это воздействие, в значительной степени выражается как энергетическое

искажение. Данные показатели коэффициентов корреляции  $r$  указывают на то, что объективные результаты оценки сигнала в виде статистики интегрального отклонения ОСМс и ОСМк в зависимости от воздействия на звуковой сигнал разных значений аддитивного белого шума могут быть использованы в качестве параметров, хорошо коррелирующих с субъективными оценками восприятия.

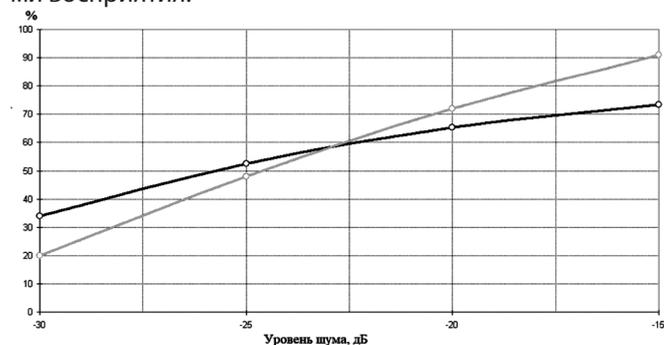


Рис. 5. Интегральное отклонение ОСМс при воздействии на звуковой сигнал аддитивного белого шума (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

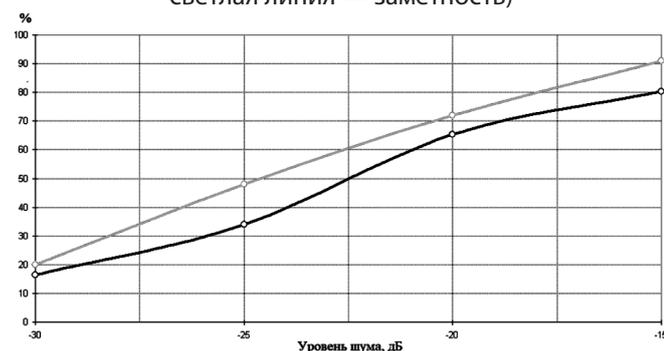


Рис. 6. Интегральное отклонение ОСМк при воздействии на звуковой сигнал аддитивного белого шума (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

На рис. 7 показан график зависимости интегрального отклонения ОСМс, а на рис. 8 график зависимости интегрального отклонения ОСМк от степени сжатия динамического диапазона звукового сигнала автоматическим регулятором уровня (АРУР).

Коэффициенты корреляции для ОСМс и ОСМк при ограничении динамического диапазона АРУРом, равны, соответственно, 0,9274 и 0,9183, что свидетельствует о высокой степени связанности разных оценок этого сигнала. Данные показатели указывают на то, что объективные результаты оценки сигнала в виде статистики интегрального отклонения ОСМс и ОСМк в зависимости от уровня ограничения динамического диапазона звукового сигнала АРУРом могут быть использованы в каче-

стве параметров, хорошо коррелирующих с субъективными оценками восприятия.

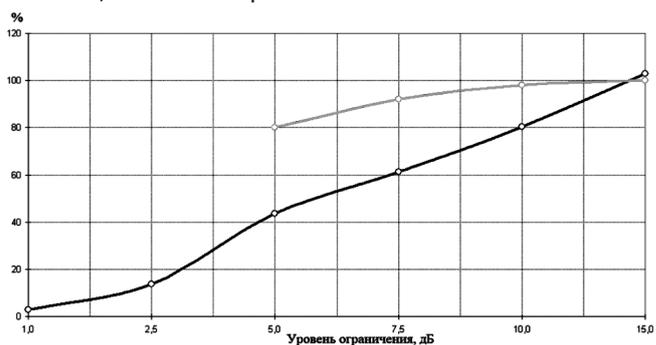


Рис. 7. Интегральное отклонение ОСМс при ограничении динамического диапазона АРУРом (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

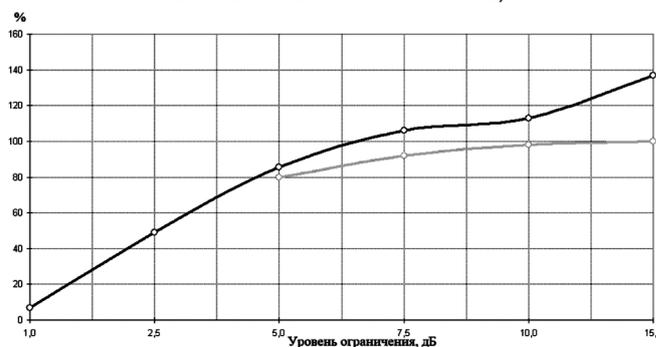


Рис. 8. Интегральное отклонение ОСМк при ограничении динамического диапазона АРУРом (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

На рис. 9 и 10 показаны, соответственно, графики зависимости интегрального отклонения ОСМс и ОСМк при нелинейных искажениях сигнала в виде двухстороннего ограничения амплитуды.

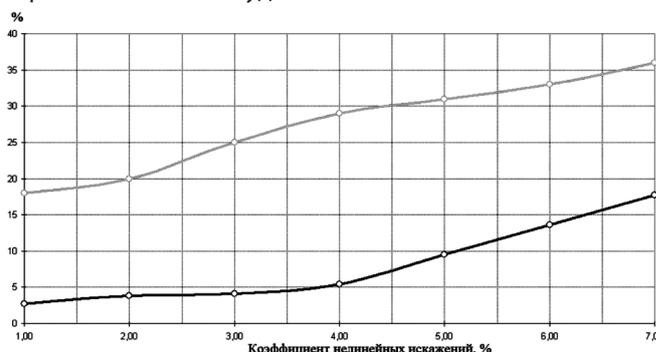


Рис. 9. Интегральное отклонение ОСМс при нелинейных искажениях сигнала в виде двухстороннего ограничения амплитуды (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

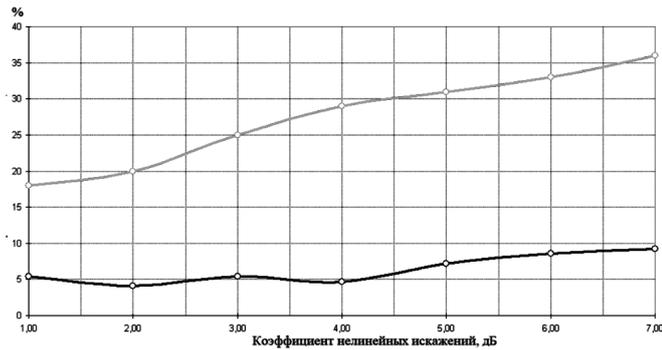


Рис. 10. Интегральное отклонение ОСМк при нелинейных искажениях сигнала в виде двухстороннего ограничения амплитуды (темная линия — интегральное отклонение, светлая линия — заметность)

Результаты в виде объективной и субъективной оценки данного вида искажений показывают, что коэффициенты корреляции для ОСМс и ОСМк равны, соответственно, 0,8989 и 0,8156, что свидетельствует о высокой степени связанности разных оценок этого сигнала. Данные показатели коэффициентов корреляции  $r$  указывают на то, что объективные результаты оценки сигнала в виде статистики интегрального отклонения ОСМс и ОСМк при нелинейных искажениях сигнала в виде двухстороннего ограничения амплитуды могут быть использованы в качестве параметров, хорошо коррелирующих с субъективными оценками восприятия.

### Заключение

В основу метода, позволяющего связать субъективно-статистические оценки качества с объективными результатами измерений звукового сигнала, было предложено использовать комплексное статистическое оценивание некоторых наиболее значимых параметров сигнала.

При воздействии на передаваемый звуковой сигнал искажений и помех, исходный и прошедший канал связи сигналы будут отличаться, поэтому в качестве параметра оценивания такого отличия предложено использовать энергетические параметры сигнала.

Использование энергетических параметров звукового сигнала позволяет оценить такие важные характеристики как относительную среднюю мощность сигнальную (ОСМс) и относительную среднюю мощность канальную (ОСМк) при воздействии на звуковой сигнал различных искажений и помех.

В основу методики, позволяющей совместить объективную оценку звукового сигнала с результатами субъективно-статистических измерений, предложено использовать *комплексное статистическое оценивание* (КСО) наиболее значимых энергетических параметров сигнала.

Для экспериментальной проверки качества оценки звукового сигнала на основе комплексного статистического оценивания, а также проверки алгоритма определения энергетических параметров, осуществлялся выбор звукового материала в соответствии с исследованиями, проведенными в свое время на кафедре РВ и ЭА МТУСИ.

Проведено экспериментальное исследование изменений статистики энергетических параметров звуковых сигналов в зависимости от вносимых в сигнал следующих видов искажений и помех: ограничение полосы частот, ограничение динамического диапазона, белый шум, нелинейные искажения. Результаты исследования показали высокую корреляцию между изменениями этих энергетических параметров и их субъективной заметностью, когда средний коэффициент корреляции составил не ниже 80 %.

Оригинальность данного исследования подтверждено зарегистрированными программами и патентами, а также статьями в различных журналах.

Использование результатов данной работы позволяет повысить качество вещательных сигналов и информационных программ, а также более качественно контролировать и регулировать аппаратуру звукового вещания и за счет этого повышать популярность телерадиовещательных станций, а также повышать экономическую эффективность данных станций.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Командирование сигналов в канале звукового вещания. О.Б. Попов, С.Г. Рихтер, А.Н. Терехов и др.; Под ред. профессора С.Г. Рихтера. — М.: Горячая линия — Телеком, 2021. — 298 с.: ил.
2. V.A. Abramov, V.G. Taktakishvili, A.A. Ovchinnikov, O.B. Popov «Objective Assessment of Transmission and Informativeness of a Speech Signal According to Statistical Parameters». Proceedings of the FRUCT 24, Moscow, Russia, 8–12 April 2019, p. 741–746.
3. Вычислитель уровня громкости по ITU-RBS.1770. Версия 1.4 «GROM». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018618009, Россия. Дата гос. регистрации 05.07.2018. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Люкина Е.В., Яновский А.С., Борисов А.А.
4. Абрамов В.А. Попов О.Б., Чернышева Т.В. Эмоциональная информативность звуковых вещательных сигналов. Международный форум информатизации (МФИ-2018). Международный конгресс (СТН-2018) Коммуникационные технологии и сети. М. МТУСИ, 2018, с.419–421.

5. V.A. Abramov, O.B. Popov, T.V. Chernysheva, V.G. Taktakishvili and A.A. Ovchinnikov, «On-board Transmission Quality Assessment Using Short Audio Signal», 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2021, pp. 1–6, doi: 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416085.
6. Комплексное представление сигналов ПО «Комплекс». Версия 2019. 09.24. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019667523. Дата гос. Регистрации 24.12.2019. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Тактакишвили В.Г., Чернышева Т.В., Овчинников А.А.
7. Тактакишвили В.Г., Абрамов В.А., Попов О. Б., Борисов А.А. Методы компактного представления, оценки и обработки звуковых сигналов на основе их комплексного представления. Журнал Т-Comm. Телекоммуникации и транспорт.2019, том 13, №2, с. 11–17.
8. V.A. Abramov, O.B. Popov, V.G. Taktakishvili, A.A. Ovchinnikov Analysis and Processing of Audio Signals Using Complex Form Representation. Proceedings of the FRUCT 24, Moscow, Russia, 8–12 April 2019, pp.735–740.
9. Способ и устройство компандирования звуковых вещательных сигналов. Патент России № 2691122. БИ №17, 11.06.2019. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Орлов В.Г.
10. Способ и устройство измерения мощности и крутизны нарастания участков нестационарности акустических сигналов. Патент России № 2731339, опубликован 01.09.2020 г. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Тактакишвили В.Г.
11. Способ и устройство измерения ритмических частот, мощности и длительности спадов участков нестационарности акустических сигналов. Патент России № 2773261. Опубликовано 01.06.2022. Авторы: Абрамов В.А., Попов О.Б., Власюк И.В., Балобанов А.В.

---

© Попов Олег Борисович (olegr45@yandex.ru); Чернышева Татьяна Васильевна (krba2012@yandex.ru);  
Абрамов Валентин Александрович (vabramov44@mail.ru); Борисов Андрей Алексеевич (a.borisov199@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ПОИСК АРХИТЕКТУРЫ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

## SEARCH FOR THE ARCHITECTURE OF A NEURAL NETWORK

V. Popukaylo  
A. Shmelyova

*Summary.* The article describes the problem of introducing artificial neural networks with deep learning into enterprises. The method of automatic search of neural architecture is described, which allows optimizing and automating the process of developing deep learning models. The components of neural architecture search are considered, in particular: search space, search strategies and evaluation.

*Keywords:* neural networks, deep learning, architecture of neural systems, architecture search.

Глубокое обучение все чаще внедряется в большее количество отраслей. Однако разработка высокопроизводительных, готовых к эксплуатации глубоких нейронных сетей может быть сложной задачей, потому что требует передовых навыков и ресурсов.

Поиск нейронной архитектуры (Neural Architecture Search, NAS) позволяет оптимизировать и автоматизировать громоздкий процесс разработки модели глубокого обучения, а также быстро и эффективно создавать глубокие нейронные сети, адаптированные к конкретным производственным требованиям. В этой статье представлено полное введение в NAS, а также краткий обзор AutoML, частью которого является NAS [1].

Искусственные нейронные сети (ИНС) — представляют собой вычислительные системы, вдохновленные биологическими нейронными сетями, основана на наборе связанных единиц или узлов, называемых искусственными нейронами. Эти нейроны могут передавать и обрабатывать сигналы. ИНС построены в три слоя: входной, для получения данных, скрытый, для их обработки, и выходной, для получения результатов [2].

Глубокие нейронные сети (Deep Neural Networks, DNN) можно определить, как ИНС с дополнительной глубиной, включающие несколько скрытых слоев единиц, между входным и выходным слоями. DNN могут изучать более сложные шаблоны, извлекая признаки на разных уровнях.

Обучение DNN основано на алгоритме обратного распространения ошибки, который можно считать одной из самых фундаментальных основ нейронных сетей. DNN вычисляют параметры после каждого прохода. затем итеративно корректируют и уточняют их во время

**Попукайло Владимир Сергеевич**

Кандидат технических наук, доцент,

ПГУ им. Т.Г. Шевченко

vsp.science@gmail.com

**Шмельёва Анастасия Владимировна**

Аспирант, ПГУ им. Т.Г. Шевченко

avshmlva@gmail.com

*Аннотация.* В статье описана проблема внедрения в предприятия искусственных нейронных сетей с глубоким обучением. Описан метод автоматического поиска нейронной архитектуры, который позволяет оптимизировать и автоматизировать процесс разработки моделей глубокого обучения. Рассмотрены компоненты поиска нейронной архитектуры, в частности: пространство поиска, стратегии поиска и оценки.

*Ключевые слова:* Нейронные сети, глубокое обучение, архитектура нейронных систем, поиск архитектур.

обратного прохода, чтобы улучшить извлечение признаков входных данных.

DDN добились успеха в компьютерном зрении, обработке естественного языка, распознавании речи, беспилотных автомобилях и многом другом. Их высокая производительность, позволяет решать сложные задачи, что приводит к длительному времени вывода результата, огромным затратам на вычисления и большим требованиям к памяти, что является препятствием для успешной коммерциализации приложений, основанных на глубоком обучении.

Поиск нейронной архитектуры — это подраздел автоматизированного машинного обучения (AutoML), представляет собой всеобъемлющий термин, относящийся к процессу автоматизации различных задач, связанных с применением машинного обучения к реальным проблемам, начиная с набора необработанных данных и заканчивая развертыванием готовой к производству модели. На каждом этапе разработки традиционной модели машинного обучения есть компоненты, которые требуют много времени, ресурсов, сложны и итеративны.

Использование методов на основе искусственного интеллекта (ИИ) для автоматизации процесса разработки машинного обучения может значительно сократить время производства. Когда дело доходит до классических алгоритмов машинного обучения (например, случайных лесов и нейронных сетей), инструменты AutoML используются для упрощения выбора модели и выбора обучающих гиперпараметров.

Существует множество способов структурировать и модифицировать нейронную сеть. Для достижения

максимальной производительности необходимо учитывать различные элементы, включая типы слоев, операции и функции активации, а также обучающие данные и соображения по развертыванию (время выполнения, память, оборудование для логического вывода и его вычислительные ограничения).

Поиск наиболее подходящей архитектуры глубокого обучения — это процесс, который включает множество итераций проб и ошибок. Поиск нейронной архитектуры представляет собой альтернативу ручному проектированию DNN. Алгоритм выбора опирается на стратегию поиска, которая, в свою очередь, зависит от схемы объективной оценки. Популярная сверточная нейронная сеть EfficientNet является примером архитектуры, созданной NAS.

### Компоненты поиска нейронной архитектуры

Поиск нейронной архитектуры состоит из трех основных строительных блоков, которые можно разделить на категории с точки зрения пространства поиска, стратегии/алгоритма поиска и стратегии оценки. Каждый из этих компонентов может использовать различные методы.

- Пространство поиска. Определение операций, используемых для проектирования DNN.
- Стратегия поиска. Оптимизация метрик в соответствии с подходом, используемым для исследования пространства поиска, необходима для стратегии поиска и оценки производительности.
- Стратегия оценки. Оценка производительности DNN до построения и обучения.

### Определение области поиска

Пространство поиска NAS определяет, какой тип архитектуры может быть обнаружен алгоритмом NAS. Поиск определяется набором операций, определяющих общую структуру сети, тип блоков или блоков, определяющих уровни, а также допустимую связность между уровнями для создания архитектур.

Чем больше элементов имеет пространство поиска, тем более сложным и универсальным алгоритм становится. Но, естественно, по мере расширения пространства поиска растут и затраты на поиск лучшей архитектуры. Типы операций, используемых при определении пространства поиска, включают последовательные послойные операции, представление на основе ячеек, иерархическую структуру и многое другое.

### Разработка стратегии поиска

Стратегия поиска определяет, как алгоритм NAS экспериментирует с различными нейронными сетями.

Из выборки кандидатов алгоритм оптимизирует показатели производительности дочерней модели. Существуют различные методы, которые оптимизируют стратегии поиска, чтобы процесс быстрее и стабильнее давал лучшие результаты. Типы поисковых алгоритмов включают случайный поиск, нейроэволюционные методы, байесовские подходы и обучение с подкреплением.

Нейроэволюционные методы работают так же хорошо, как и обучение с подкреплением, кроме того, эволюционные методы, как правило, имеют лучшую производительность и основываются на меньших моделях. В то время как более ранние методы NAS были основаны на дискретных пространствах поиска, непрерывная формулировка пространства поиска архитектуры представила дифференцируемые методы поиска, которые открыли путь для оптимизации на основе градиента [3].

Опишем некоторые методы поиска:

- Случайный поиск состоит из алгоритма NAS, который случайным образом выбирает архитектуру нейронной сети из пространства поиска. Это дорогостоящий процесс. Потому что вместо того, чтобы использовать более эффективный подход, он пробивается через пространство поиска. В зависимости от сложности пространства поиска на один поиск может потребоваться большое количество дней работы графического процессора.
- Обучение с подкреплением. Тип метода поиска, который обучает модели машинного обучения принимать последовательность решений. Модель ищет решение проблемы, на основе проб и ошибок и получает награды и штрафы. Это позволяет принимать решения в сложной среде и учиться выбирать конфигурации, которые создают лучшие нейронные сети для NAS.

### Байесовская оптимизация

Байесовская оптимизация — это набор методов, которые часто используются для ускорения процесса поиска. Это популярный подход для оптимизации гиперпараметров. На высоком уровне он начинается со случайного выбора и оценки архитектур, а затем постепенно настраивает направление поиска на основе результатов оценки и собранной информации о производительности различных архитектур.

### Установка стратегии оценки

Во время поиска в NAS алгоритм обучает, оценивает, проверяет и сравнивает производительность, прежде чем выбрать оптимальную нейронную сеть. Полное обучение каждой нейронной сети обычно требует много времени и высоких вычислительных ресурсов — тысячи дней использования графического процессора.

Чтобы снизить затраты на оценку моделей глубокого обучения, можно использовать несколько стратегий, в том числе:

- Производительность прокси-задачи.
- Оценка производительности с низкой точностью — ранний выход через несколько эпох, обучение на подмножестве данных, модели или данные с уменьшенным масштабом.
- Наследование и распределения веса.
- Экстраполяция кривой обучения.

**Объединение поиска и оценки: одноразовый подход**

Независимый поиск и оценка большого количества дочерних моделей обходится дорого. Чтобы решить эту проблему, группа методов NAS использует пространство поиска подархитектур, принадлежащих одной суперархитектуре, с обученными весами, которые являются общими для всех подмоделей. Однократные методы различаются в зависимости от обучения [1, 9].

Эффективный поиск нейронной архитектуры является примером однократного алгоритма, который обеспечивает ускорение поиска в 1000 раз по сравнению с предыдущими методами.

Было произведено сравнение методов NAS с небольшими наборами эталонных данных (например, Cifar-10, MNIST, OUI-Adience-Age или сокращенными версиями ImageNet). Время этапа поиска для всех методов NAS составляет два дня, как и время переобучения. Средние результаты сообщаются на основе трехкратного повторения, результаты эксперимента представлены на рисунке 1.

Повышение эффективности NAS, коммерчески успешно для пользователей, у которых нет больших вычислительных ресурсов.

**Трансферное обучение**

Трансферное обучение — это еще один подход AutoML, который повторно использует предварительно обученную модель, разработанную для одной задачи, в качестве отправной точки для работы над новой проблемой. Трансферное обучение популярно в глубоком обучении, поскольку изученные карты признаков можно использовать для обучения DNN с небольшим объемом данных [6].

Основная идея NAS заключается в том, что каждый набор данных и сопутствующее ему оборудование и производственная среда имеют особую и уникальную архитектуру, которая лучше всего работает с ним. В отличие от трансферного обучения, NAS обладает гибкостью и настройкой, что требует от ученых и разработчиков изучения и подготовки весов для новой архитектуры [7].

**Преимущество NAS**

Необходимость иметь возможность эффективно внедрять DNN растет, поскольку они все востребованы во многих отраслях. Использование DNN требует множества ресурсов и специалистов. NAS позволяет:

- Автоматизировать процесс выбора архитектуры и тестирования.
- Повысить точность и скорость логического вывода.
- Сократить итеративный и громоздкий процесс запуска моделей глубокого обучения в производство.

NAS	AutoKeras (%)	ENAS (macro) (%)	ENAS (micro) (%)	DARTS (%)	NAO-WS (%)
Fashion-MNIST	91.84	95.44	95.53	95.74	95.20
CIFAR-10	75.78	95.68	96.16	94.23	95.64
CIFAR-100	43.61	78.13	78.84	79.74	75.75
OUI-Adience-Age	63.20	80.34	78.55	76.83	72.96
ImageNet-10-1	61.80	77.07	79.80	80.48	77.20
ImageNet-10-2	37.20	58.13	56.47	60.53	61.20

Источник: Составлено автором на основании [9]

Рис. 1. Сравнение поиска нейронной архитектуры

Растущий интерес к глубокому обучению и AutoML ускорил разработку множества методов и алгоритмов для поиска в нейронной архитектуре. Использование NAS включает в себя разработку и тестирование.

Библиотеки с открытым исходным кодом для разработки:

- NASLib имеет общую модульную кодовую базу, которая облегчает исследование NAS и сравнение различных методов NAS. Библиотека также предоставляет интерфейсы для некоторых современных поисковых пространств и оптимизаторов NAS [8].
- Auto-PyTorch сочетает в себе идеи эффективной многоцелевой оптимизации, метаобучения и ансамбля для оптимизации нейронных архитектур и гиперпараметров, разработан для поддержки табличных данных [10].

Тесты NAS для повышения эффективности:

- NAS-Bench101 — это первый общедоступный набор данных по архитектуре для исследований в области NAS. Запрашивая предварительно вычисленный набор данных, исследователи могут оценить качество моделей за миллисекунды [5].

- Surrogate NAS для произвольных областей поиска направлены на преодоление ограничений табличных тестов NAS; поскольку он фокусируется на небольших архитектурных пространствах поиска, что приводит к результатам, которые не переносятся на большие пространства [4].

- NAS-Bench-Suite предлагает исчерпывающий набор эталонных тестов NAS для облегчения воспроизводимых, обобщающих и быстрых исследований.

## Вывод

NAS предоставляет множество преимуществ для специалистов по данным, стремящихся оптимизировать DNN и сделать их более эффективными, но у них все еще есть ограничения. Методы NAS являются дорогостоящими в вычислительном отношении, поскольку для поиска лучшей модели может потребоваться много дней и огромная вычислительная мощность. Модели NAS обучаются на автономных данных, поэтому может быть трудно предсказать, как они будут работать на архитектурах с реальными данными.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Баррет З., Виджай В., Джонатон Ш. Изучение переносимых архитектур для масштабируемого распознавания изображений. 2017. [Электронный источник] / URL: <https://arxiv.org/abs/1707.07012>
2. Галушкин А.И. Нейронная сеть // Большая российская энциклопедия / под редакцией: Осипов. Ю.С. Москва.: Изд-во Большая российская энциклопедия, 2021.
3. Давидюк Ю.И. Методы нейроэволюции сетей прямого распространения // Вестник Брестского государственного технического университета. 2021. С. 49–53. [Электронный источник] / URL: <https://rep.bstu.by/bitstream/handle/data/21563/49-53.pdf?sequence=1>
4. Зела А, Симс Ж., Циммер Л., Лукасик Й., Койпер М., Хаттер Ф. Surrogate NAS выход за пределы ограниченного пространства поиска табличных тестов NAS. 2022. [Электронный источник] / URL: <https://arxiv.org/abs/2008.09777>
5. Ин К., Клейн А., Реал Э., Кристиансен Э., Мерфи К., Хаттер Ф. NAS-Bench-101: Поиск воспроизводимой нейронной архитектуры. 2019. [Электронный источник] / URL: <https://arxiv.org/abs/1902.09635>
6. Марголина А. Что такое transfer learning в обучении нейросетей. 2023. [Электронный источник] / URL: <https://sysblok.ru/glossary/chto-takoe-transfer-learning-v-obuchenii-nejrosetej/>
7. Синь Х., Кайён Ч. AutoML: обзор современного состояния. 2021 [Электронный источник] / URL: <https://arxiv.org/pdf/1908.00709.pdf>
8. Уайт К., Зела А., Рухте М., Кришнакумар А., Мехта Я. Библиотека NASLib. 2023. [Электронный источник] / URL: <https://arxiv.org/abs/2006.13799>
9. Хайфэн Д. Эффективный поиск нейронной архитектуры с помощью сетевого морфизма. 2018. [Электронный источник] / URL: [https://www.researchgate.net/publication/326029461\\_Efficient\\_Neural\\_Architecture\\_Search\\_with\\_Network\\_Morphism](https://www.researchgate.net/publication/326029461_Efficient_Neural_Architecture_Search_with_Network_Morphism)
10. Циммер Л., Линдауэр М., Хаттер Ф. Auto-PyTorch Tabular: для эффективного и надежного AutoDL. 2020. [Электронный источник] / URL: <https://github.com/automl/auto-pytorch/>

## РАЗЛИЧНЫЕ АСПЕКТЫ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

**Смолянников Илья Викторович**

главный специалист — научный сотрудник,  
ФГАНУ «Центр информационных технологий и систем  
органов исполнительной власти  
имени А.В. Старовойтова»  
ilyasm211@gmail.com

### VARIOUS ASPECTS OF OPTIMIZING THE INTERNET OF THINGS NETWORK

*I. Smolyannikov*

*Summary.* Thanks to advances in modern technology, the Internet has become used to exchange data between fairly small devices with limited resources. Their number already reaches billions, which creates the Internet of Things in its current sense, but from here comes the problem of optimizing networks due to the large amount of traffic that these devices generate.

The purpose of the article is to structure and describe the problems and issues of optimizing the Internet of Things network.

The article presents the main problems that need to be solved when optimizing the Internet of Things data transmission network, such as congestion, routing, energy saving, reliability, security. The optimization of the network in the Internet of things and the classification of algorithms are discussed. Modern methods of network optimization are discussed on the basis of recent scientific works. The article concludes with a list of future challenges that need to be addressed to optimize the IoT network.

*Keywords:* network optimization; quality of service; Internet of things; energy saving; reliability; safety.

*Аннотация.* Благодаря достижениям в современных технологиях Интернет стал использоваться для обмена данными между достаточно небольшими устройствами с ограниченными ресурсами. Их количество уже достигает миллиардов, что создает Интернет вещей в нынешнем его понимании, но отсюда и появляется проблема по оптимизации сетей из-за большого объема трафика, который генерируют эти устройства.

Цель статьи заключена в структуризации и описании проблем и вопросов по оптимизации сети Интернета вещей.

В статье приведены основные проблемы, которые необходимо решить при оптимизации сети передачи данных Интернета вещей, таких как, перегрузки, маршрутизация, энергосбережение, надежность, безопасность. Обсуждается оптимизация сети в Интернете вещей и классификация алгоритмов. На основе последних научных работ обсуждаются современные методы оптимизации сети. В заключении статьи приводится список будущих задач, которые необходимо решить для оптимизации сети Интернета вещей.

*Ключевые слова:* оптимизация сети; качество обслуживания; Интернет вещей; энергосбережение; надежность; безопасность.

### Введение

С развитием коммуникационных линий, сетей передачи данных и распределенных вычислений в мире появилась новая ветвь сети, которая называется Интернет вещей. В связи с чем стало появляться все больше и больше устройств, которые одновременно подключены к сети интернет. Их количество уже исчисляется миллиардами. Каждое из таких устройств подключается в сети через свою собственную технологию, будь то сотовая связь или подключение типа машина-машина, используя различные варианты беспроводных технологий. Все это создает определенный набор характеристик, от которых зависит надежность связи в сети Интернета вещей. Сама сеть в себя включает совокупность используемой архитектуры, протоколов, различных предоставляемых услуг, компонентов безопасности. В настоящее время основная тенденция Интернета вещей рассматривается как Интернет будущего, в котором миллиарды взаимосвязанных вещей и устройств используют современные технологии, расширяя при этом возможности в оказании услуг [7].

В Интернете вещей трафик должен управляться децентрализованно относительно приложения, например, как система управления движением, где отдельные узлы

обмениваются информацией о своем трафике, что помогает планировать трафик на основе скорости данных из каждого источника, чтобы избежать заторов трафика [1].

Одной из сфер применения устройств Интернета вещей является использование датчиков в системах жизнеобеспечения или предотвращения катастроф, например, при пожаре. В таких системах сеть должна быть наиболее надежной, чтобы обеспечить полноту всех передаваемых данных, но при этом не создавать повышенную нагрузку на другие компоненты. Поэтому там может применяться стратегия с несколькими маршрутизаторами, для обеспечения энергоэффективности, потому что некоторые узлы будут находиться в спящем режиме и наиболее ближайший узел будет брать на себя роль активного узла, для сбора информации и доставки данных каких-либо задержек и ущерба энергоэффективности [3].

Долговечность функционирования сеть может быть изменена путем выбора наиболее оптимального пути среди множества доступных, если использовать для этого модель линейного программирования. Вышеупомянутые факторы затрудняют эффективное использование и управление ресурсами спектра для приложений Интернета вещей, поскольку Интернет вещей рассматрива-

ется как часть будущего Интернета, охватывающего все виды доменов и промышленных приложений. Если эти сетевые проблемы не будут решены, то нехватка ресурсов станет препятствием для дальнейшего развития Интернета вещей. В отличие от этого, высокий приоритет следует уделять оптимизации использования сетевых ресурсов миллиардами новых беспроводных устройств, подключаемых к Интернету в будущем, чтобы способствовать эффективному использованию сети.

В статье будут рассмотрены несколько возможностей улучшения стабильности сетей Интернета вещей:

- различные типы алгоритмов с целью оптимизации сети в Интернете вещей.
- недавних исследовательские работы наряду с новыми подходами, опубликованными в области различных параметров сети, таких как маршрутизация сети, энергосбережение, контроль перегруженности, неоднородность, масштабируемость сети, надежность, качество обслуживания и безопасность сети.

#### Оптимизация сети и интернет вещей

Как правило, оптимизация сети определяется как технология, используемая для повышения производительности сети для любой среды. Это играет важную роль в Интернете вещей, поскольку с каждым днем в сеть поступает большое количество данных от различных устройств и приложений [10]. Оптимизация сети предлагает различные преимущества, такие как более быстрая скорость передачи данных, восстановление данных, устранение избыточных данных и увеличение времени отклика приложения и сети.

Проблема оптимизации сети в Интернете вещей привлекает все большее внимание, так как ожидается, что количество новых устройств с течением времени будет постоянно расти. Из чего можно сделать вывод, что необходимо найти максимально эффективное решение для оптимизации, чтобы уменьшить будущий всплеск объемов трафика, который так или иначе будет влиять на оказание других услуг, не связанных с Интернетом вещей. Ведь трафик, генерируемый устройствами Интернета вещей от устройства к устройству и всегда неоднороден. Кроме того, необходимо регулировать трафик Интернета вещей, чтобы контролировать работу устройств Интернета вещей и его сервисов. Приложение Интернета вещей генерирует меньше данных, однако интеграция устройств в приложение генерирует большой объем трафика из-за управляющих сообщений. Следовательно, этот трафик, не связанный с приложениями, создает значительную дополнительную нагрузку на сеть. Таким образом, чтобы преодолеть эту нагрузку, требуется эффективный механизм для адресации и оптимизации обмена сообщениями от устройств Интернета вещей.

#### Классификация алгоритмов

Обычно задача оптимизации состоит из входных факторов, выходных данных, ограничений и различных целевых функций. Задача оптимизации сети в IoT включает в себя множество компонентов, которые будут объединены с использованием различных комбинаций и методов, направленных на решение конкретной сетевой задачи. В целом, можно выделить два важных метода оптимизации:

- Применение известной системы оптимизации для решения проблемы (готового фреймворка).
- Разработка новой работы, основанной на эвристическом методе решения задачи.

Вышеописанные подходы совсем не взаимоисключают друг друга. Иногда целесообразнее их комбинировать, особенно если рассматриваемая проблема сложная или, уже известные подходы не дают ощутимого результата. Эвристический подход состоит из алгоритма, который обеспечивает более быстрое аппроксимационное решение для более сложной задачи и жадного подхода, который обеспечивает оптимальное решение, путем принятия допущений. Оба этих подхода обеспечивают оптимальное решение сложных задач и оба обеспечивают производительность, близкую к оптимальной.

Все эти алгоритмы можно разбить на следующие виды:

- Алгоритмы, основанные на методе роя частиц (PSO) [8];
- Генетические алгоритмы (GA);
- Генетический алгоритм сортировки без доминирования II (NSGA-II);
- Алгоритмы, основанные на нечеткой логике;
- Стохастические алгоритмы;
- Эвристические алгоритмы;
- Эволюционные алгоритмы (EA);
- Меметические алгоритмы (MA).

В дополнение к вышеприведенным алгоритмам существует множество других, которые помогают оптимизировать сеть Интернета вещей. Рассмотрим несколько таких алгоритмов, описанных в научных статьях:

В одной из своих работ [5], авторы предложили Байесовский подход к сетевой модели для идентификации вторжений в сети Интернета вещей. Эта модель обладает большими возможностями динамической идентификации основных узлов для обеспечения лучшей функции безопасности, которая может быть достигнута с использованием исторических данных.

Авторы статьи «Исследование по применению иерархической кластеризованной системы на основе тех-

нологии маршрутизации с использованием алгоритмов искусственного интеллекта для обеспечения качества обслуживания маршрутизации на основе сервиса» [4] предложили алгоритм на основе искусственного интеллекта для формирования вычислительных кластеров, выбора оптимального маршрута и выполнения многолучевой маршрутизации для достижения лучшего качества обслуживания.

### Современные решения оптимизации сетей

Для оптимальной работы сетей IoT было предложено множество схем оптимизации сети.

На сегодняшний день Интернет потребляет 5 % производимой энергии, с учетом этих прогнозов необходимо, чтобы устройства IoT были энергоэффективными для обеспечения надежной связи. Для решения этих проблем приведем некоторую информацию о масштабах и ограничениях различных работ, связанных с множеством параметров, такими как маршрутизация сетей, энергосбережение, перегруженность, неоднородность, масштабируемость, надежность, качество обслуживания (QoS) и безопасность.

### Маршрутизация

Маршрутизация — это процесс выбора пути для отправки данных по одной или нескольким сетям. Эти данные генерируются M2M или машиной для связи с объектами. Эти генерируемые данные должны быть перенаправлены, чтобы выбрать кратчайший путь или оптимальный путь для достижения цели. Процесс хранения информации о маршрутах доставки данных подразделяется на три типа:

1. Реактивный: этот протокол создает маршруты только тогда, когда источник хочет отправить данные в пункт назначения, следовательно, он также известен как протокол маршрутизации по требованию.
2. Упреждающий: этот протокол поддерживает таблицу маршрутизации, которая периодически обновляется на основе свежего списка назначений, поэтому он известен как протокол, управляемый таблицей.
3. Гибридный — Этот протокол представляет собой комбинацию как реактивных, так и проактивных протоколов маршрутизации.

Для доставки данных от источника к месту назначения используются различные методы, в качестве примера можно рассмотреть облегченный алгоритм пересылки для упорядочивания многоадресной рассылки в сетях с низкой мощностью (LLN) для обнаружения сервиса в интеллектуальных объектах. Этот протокол использует метод локального заполнения для устройств

с рабочим циклом, использующих сети низкой мощности с протоколом маршрутизации для таких сетей (RPL), что помогает устройствам с ограниченной памятью использовать многоадресную рассылку [11]. Этот метод позволяет избежать прямых зацикливаний с помощью фильтров Блума для идентификации повторяющихся пакетов и предотвращения зацикливаний.

В качестве другого примера можно привести улучшенную схему многолучевой маршрутизации для сетей без четкой структуры (AOMDV) [6]. Такая схема динамически выбирает стабильный маршрут в сети Интернет при помощи регулярного обновления таблиц, относящихся к Интернет соединению. Этот протокол требует два дополнительных пакета с информацией о маршруте, но при этом снижает задержку получения информации между конечными узлами, потерю пакетов и частоту обнаружения.

### Энергосбережение

Для продления срока службы сети, в приложениях Интернета вещей важную роль играют методы и механизмы энергосбережения, и режим ожидания. Рассмотрим несколько коммуникационных стандартов, которые позволяют достигнуть эту цель:

1. IEEE 802.11ah — это протокол беспроводной сети, более предназначенный для экономии энергии чем стандарт IEEE 802.11. Работает в диапазоне в два раза больше, чем у предшественника, использует безлицензионный канал 900 МГц. Для экономии энергии имеет две станции, а именно станции TIM и станции не-TIM. Станции TIM периодически получают информацию о буферизованном трафике для них от точки доступа в так называемом информационном элементе TIM, отсюда и название. Станции не-TIM используют новый механизм целевое время пробуждения (TWT), который позволяет снизить накладные расходы на связь. Целевое время пробуждения — это функция, позволяющая точке доступа определять конкретное время и набор временных интервалов для осуществления доступа к среде. Таким образом, целевое время пробуждения снижает энергопотребление сети, а рассмотренный стандарт использует небольшие сигналы вместо подтверждения, чтобы сохранить энергию.
2. ZigBee — это беспроводной протокол, определяемый уровнем 3 и выше стандарта IEEE 802.15.4. Существует два типа узлов в сети ZigBee: Полнофункциональное устройство (FFD), которое выступает в роли координатора, а также как общий узел, и другой — устройства с уменьшенной функциональностью (RFD), который действует только как общий узел. Существует технология синхронизированного перехода в спящий режим

(SST) для облегчения перехода в спящий режим всех узлов сети ZigBee, включая полнофункциональные устройства (FFD). Во многих приложениях маршрутизация требуется в течение очень ограниченного промежутка времени. Благодаря этому, SST позволяет множеству устройств переходить в спящий режим в периоды простоя сети, тем самым экономя энергию устройств. Кроме того, существует множество методов, которые позволяют узлам переходить в спящий режим, когда нет события для экономии энергии.

3. Bluetooth с низким энергопотреблением (BLE): BLE также известен как Bluetooth Smart, который работает в операционной системе почти всех мобильных телефонов, настольных компьютеров и ноутбуков. BLE требует в десять раз меньше мощности, чем у стандартного Bluetooth, потому что BLE использует архитектуру главный/подчиненный, в которой главный компонент определяет время бодрствования подчиненного, чтобы он мог войти в сон после того, как он отправил всю информацию главному узлу. Таким образом, это преимущество делает BLE идеальным для приложений Интернета вещей, так как это даже с очень маленькой батареей.
4. LoRaWAN — данный протокол предназначен для устройств, работающих от аккумулятора, что делает его идеальным для применения в приложениях Интернета вещей [2]. Он поддерживает двупольную связь, мобильность, безопасность и т.д., которые так требуются в Интернете вещей, но еще что более важно он является энергоэффективным протоколом. Протокол также поддерживает большое количество устройств, что решает проблему масштабируемости и упрощает получение энергии, необходимую для устройств Интернета вещей.

Благодаря всем вышеупомянутым стандартам связи BLE, ZigBee и IEEE 802.11ah широко используются в большинстве приложений Интернета вещей, а LoRaWAN является новым стандартом для связи в сетях Интернета вещей.

### Контроль перегрузки

По оценкам технических экспертов к 2024 году может насчитываться около 30 миллиардов устройств, подключенных к Интернету. В результате огромного количества устройств может возникнуть риск перегрузки сети. Поэтому для решения этой проблемы требуется эффективный механизм контроля перегрузки. Перегруженность в Интернете вещей является результатом сочетания различных типов устройств и сервисов, которые постоянно передают свои данные в неоднородной форме.

Благодаря использованию встроенных технологий в Интернет вещей, это приводит к широкому внедрению устройств малого размера и с меньшим количеством памяти, например, датчики и исполнительные механизмы, в приложениях реального времени. С увеличением числа таких устройств объем производимых данных и потребность в сети также неограниченно растут. Из чего можно сделать вывод, что обработка данных от таких устройств и обеспечение эффективной сети для них является одной из самых сложных задач в Интернете вещей.

### Надежность

Сетевые технологии, используемая в Интернете вещей по своей сути неуправляема в большинстве приложений, а надежность является наиболее важным параметром качества.

Параметры качества обслуживания (QoS) сети рассматриваются с различных точек зрения и размеров, таких как пропускная способность, задержка, скорость потери пакетов, избежание помех и дрожания [9]. Следовательно, QoS должен определяться по-разному для разных технологий. Очень трудно эффективно обеспечить качество обслуживания в беспроводных сетях из-за разрыва между сегментами управления и распределением ресурсов общих беспроводных устройств.

Также немаловажным фактором является и безопасность. Безопасность является жизненно важным требованием для защиты данных, передаваемых в сети, поэтому она является оптимальным требованием для обеспечения эффективного механизма защиты данных от различных видов нарушений.

### Будущие задачи

Развитие Интернета вещей для поддержки коммуникационной инфраструктуры приводит к появлению новых сервисов для различных областей применения, например, домашняя сеть, умный город, бизнес, логистика, медицина и т.д. Но такая эволюция порождает новые проблемы и задачи для управления использованием сети. Рассмотрим несколько из таких проблем и задач:

- Сетевая маршрутизация: проблемами будут являться — обеспечение эффективного механизма маршрутизации на канальном уровне, уменьшение накладных расходов на маршрутизацию, выбор наилучшего энергоэффективного алгоритма среди различных типов. Задача — выбрать идеальные энергоэффективные алгоритмы среди различных доступных типов, поскольку разные алгоритмы используют разные методы при выборе главной части кластера и технику при выборе маршрута

— Безопасность: проблемы — обеспечение безопасности данных от большего количества атак из-за разнообразия устройств, раскрытие сети из-за недостатка в технологиях и их реализации, атака на сети по второстепенным каналам. Задачи — попытка взлома системы путем обнаружения слабых мест в физической реализации криптографической системы с помощью электромагнитных утечек, информации о времени, потреблении энергии и многих других факторов приводит к проникновению злоумышленника в систему, поэтому задача разработчика заключается в реализации более надежного алгоритма криптографии. Уязвимость безопасности в сети возникает по двум основным причинам, таким как уязвимости в нерассмотренные угрозы во время всей настройки сети Интернета вещей и недостатки при внедрении и моделировании технологий и протоколов. Таким образом, задача состоит в том, чтобы обеспечить механизм безопасности в этой ситуации.

Интернет сильно изменил привычный образ жизни. Он перевел взаимодействие между людьми на новый уровень. Интернет вещей обладает потенциалом принести новое измерение в этот процесс, позволяя осуществлять связь с различными устройствами. Но с его развитием увеличивается количество объектов, из которых он состоит, поэтому на передний план выходит больше проблем по оптимизации сети. В статье рассмотрены несколько аспектов, при помощи которых можно в той или иной степени проводить оптимизацию сети Интернета вещей. Рассмотрены основные параметры сети Интернета вещей, такие как маршрутизация, перегрузки, надежность, энергосбережение. В качестве примеров были приведены результаты последних исследовательских статей. В конечном итоге были определены будущие задачи и вопросы дальнейшей оптимизации сети Интернета вещей, что может помочь приступить к будущим работам по оптимизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Accettura N. et al. Decentralized traffic aware scheduling for multi-hop low power lossy networks in the internet of things // 2013 IEEE 14th International Symposium on «A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks» (WoWMoM). — IEEE, 2013. — С. 1–6.
2. Haxhibeqiri J. et al. A survey of LoRaWAN for IoT: From technology to application // Sensors. — 2018. — Т. 18. — №. 11. — С. 3995.
3. Liu Y. et al. FFSC: an energy efficiency communications approach for delay minimizing in internet of things // IEEE Access. — 2016. — Т. 4. — С. 3775–3793.
4. Long N.T., Thuy N.D., Hoang P.H. Research on applying hierarchical clustered based routing technique using artificial intelligence algorithms for quality of service of service based routing // Internet Things Cloud Comput. — 2015. — Т. 3. — №. 6–1. — С. 1–8.
5. Sun F., Wu C., Sheng D. Bayesian Networks for Intrusion Dependency Analysis in Water Controlling Systems // Journal of Information Science & Engineering. — 2017. — Т. 33. — №. 4.
6. Zhou J. et al. Ad hoc on-demand multipath distance vector routing protocol based on node state // Communications and Network. — 2013. — Т. 5. — №. 03. — С. 408–413.
7. Бидельманова С.Р. ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ УМНОЙ СРЕДЫ В БЛИЖАЙШЕМ БУДУЩЕМ // Advances in Science and Technology. — 2018. — С. 77–82.
8. Казакова Е.М. Краткий обзор методов оптимизации на основе роя частиц // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. — 2022. — Т. 39. — № 2. — С. 150–174.
9. Лушпа И.В. Оценка надежности в концепции Интернета вещей // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. — 2016. — № 19. — С. 216–218.
10. Цветков В.Я. Интернет вещей как глобальная инфраструктура для информационного общества // Современные технологии управления. — 2017. — № 6 (78). — С. 3.
11. ЭРИКСОН Г.М., БОРОСС К.А. ЭФФЕКТИВНЫЙ СЕТЕВОЙ УРОВЕНЬ ДЛЯ ПРОТОКОЛА IPv6. — 2019.

© Смольяников Илья Викторович (ilyasm211@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ НОВИЗНЫ И АКТУАЛЬНОСТИ В НАУЧНОМ ЛАНДШАФТЕ НА ПРИМЕРЕ ЭКОНОМИКО- УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ПУБЛИКАЦИЙ В СФЕРЕ НЕДВИЖИМОСТИ

## IDENTIFICATION OF NOVELTY AND RELEVANCE IN THE SCIENTIFIC LANDSCAPE ON THE EXAMPLE OF ECONOMIC AND MANAGEMENT PUBLICATIONS IN REAL ESTATE

**A. Tarasyev**  
**D. Mikhailov**  
**A. Tarasyev**

*Summary.* The article presents a scientometric study dedicated to identifying the research front in the real estate sector. The proposed methodology using a bipartite graph model and forecasting future connections in the semantic network of publications in the real estate sector allows identifying the components of novelty and relevance of the research front. The forecast of the future connections of the constructed semantic network of the corpus of publications in the field of real estate identified two trends with signs of novelty and relevance — «departmental housing» and «behavioral aspects». However, it is important to note that the technique has its limitations and is not always ideal. In the context of this article, only one of the possible strategies of the research front is described, and the effectiveness of its application may vary depending on the specific subject area and scientific discipline. The results and conclusions of this study are one of the options and approaches to the analysis of novelty and relevance in the field of real estate. This technique has the potential for application in other subject areas and scientific disciplines as a search strategy of the research front. It allows you to identify the most promising and developing areas of research, and helps researchers navigate current topics and trends.

*Keywords:* real estate, research front, scientometric analysis, novelty, relevance, graph theory, behavioral aspects.

**Тарасьев Александр Михайлович**

доктор физико-математических наук, профессор,  
Уральский федеральный университет  
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина  
г. Екатеринбург

**Михайлов Дмитрий Владимирович**

Руководитель партнерского канала продаж «Брусника  
специализированный застройщик», г. Екатеринбург  
mikhailovdv@e1.ru

**Тарасьев Александр Александрович**

кандидат экономических наук,  
Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*Аннотация.* В статье представлено наукометрическое исследование, посвященное выявлению исследовательского фронта в сфере недвижимости. Предложенная методика с использованием модели двудольного графа и прогнозирования будущих связей в семантической сети публикаций в сфере недвижимости позволяет идентифицировать компоненты новизны и актуальности исследовательского фронта. Выполненный прогноз будущих связей построенной семантической сети корпуса публикаций в сфере недвижимости идентифицировал два тренда с признаками новизны и актуальности — «ведомственное жилье» и «поведенческие аспекты». Однако важно отметить, что методика имеет свои ограничения и не является всегда идеальной. В контексте данной статьи описана только одна из возможных стратегий исследовательского фронта, и эффективность её применения может варьироваться в зависимости от конкретной предметной области и научной дисциплины. Результаты и выводы данного исследования являются одним из вариантов и подходов к анализу новизны и актуальности в сфере недвижимости. Эта методика имеет потенциал для применения в других предметных областях и научных дисциплинах в качестве поисковой стратегии исследовательского фронта. Она позволяет выявить наиболее перспективные и развивающиеся направления исследований, а также помогает исследователям ориентироваться в актуальных темах и тенденциях.

*Ключевые слова:* недвижимость, исследовательский фронт, наукометрический анализ, новизна, актуальность, теория графов, поведенческие аспекты.

Целью настоящей исследовательской работы является изучение направленности усилий мирового научного сообщества в области недвижимости на основе публикаций экономико-управленческого (не инженерного) характера в форме прогноза вхождения наиболее вероятных терминов в будущие публикации в этой области.

На рубеже 2000-х годов уже был опубликован ряд работ авторитетных авторов по идентификации исследовательских тенденций, а также по выявлению наибо-

лее рейтинговых изданий и авторов в области изучения вопросов недвижимости. Однако, как правило, применялись качественные методы опросов экспертных панелей. Более того, большинство из них было проведено применительно к научному полю отдельных стран со своей специфичностью и особенностями (например, разницей в нормах национальных регуляторов) и носило фрагментарный характер, не отвечая такому критерию как генерализация знаний. С конца 2010-х годов стали появляться работы, авторы которых для решения

задачи идентификации исследовательского фронта в области недвижимости стали применять библиометрические методы для выявления наиболее влиятельных научных работ, формировать соответствующие кластеры и давать формулировки перспективных направлений.

Идентификация новизны и актуальности в научном ландшафте на примере экономико-управленческих публикаций в сфере недвижимости традиционно может быть выполнена с помощью ряда методов, в том числе за счет анализа цитирования, оценки рейтингов изданий, обзоров литературы, индексирования баз данных. Комбинирование данных методов позволяет лучше понять уровень новизны и актуальности экономико-управленческих публикаций в сфере недвижимости.

Тем не менее, в самое последнее время появились новые методы на основе сетевого анализа и теории графов, способные формировать прогнозы на основе топологии сетей знаний. Таким образом, исследовательский вопрос настоящей работы:

**В1:** Какие термины — объекты, детерминанты, концепции, закономерности, методы исследований — наиболее вероятно появятся в будущих научных экономико-управленческих публикациях по тематике недвижимости?

Дальнейшее изложение организовано следующим образом. Раздел 2 содержит введение в проблему изучения исследовательского фронта на основе актуальной литературы, применяемые методы и способ представления корпуса предметной области в виде семантической сети. Раздел 3 описывает конвейер обработки получения датасета, разметки и решения задачи прогноза связей. Раздел 4 представляет полученные результаты прогнозирования наиболее вероятных связей и идентификация тематик будущих исследований. Наконец, в разделе 5 приводится сопоставление полученных результатов с предшествующей работой, приводятся уникальные и слабые стороны исследования, указывается направление будущего возможного развития тематики. В заключении сделан вывод о получении ответа на сформулированный исследовательский вопрос В1.

Понятия новизны и актуальности являются центральными в теориях научно-технологического прогресса. Эти теории предполагают, что развитие и движение исследовательского фронта и формирование нового научного ландшафта часто возникает за счет рекомбинации существующих знаний и компонентов, как в теориях «рекомбинантных инноваций» (Fleming, 2001) [1]. Концептуально, научный прорыв должен быть изначально новым для фокальной области, а затем становиться все более актуальным для основных направлений в этой области по мере ее развития со временем.

Не так часто, но исследователями в последние 5 лет уже предпринимались попытки выявить исследовательские тенденции, профиль научного ландшафта в экономико-управленческом контексте области недвижимости, обобщение которых было произведено в [2]. В этих работах были применены преимущественно количественные методы наукометрического анализа публикаций, в том числе анализ публикационной активности, а также разнообразные подвиды анализа цитирования (Mazov et al., 2020) [3]. При этом применялся анализ количества цитирований статей и их влияние на другие работы, проводилась оценка импакт-фактора, рассматривался коэффициент авторского влияния. Несмотря на то, что количественные приемы выявления исследовательских фронтов значительно улучшают объективность результатов поиска по сравнению с качественными методами, они также не лишены недостатков. Так, в Sun et al. (2020) [4] содержится острая и конструктивная критика методов выявления новизны/актуальности патентов на изобретения (по аналогии с научными публикациями), основанных на цитировании. Эти авторы делают вывод: «Часто предполагается, что прорывные изобретения связаны с широко цитируемыми патентами, но этот показатель не учитывает как новизну изобретения, так и его развивающуюся связь с основным направлением технологической области». Или, как отмечается в Mokyr (1990) [5], «радикальное озарение недостаточно... как мутант, который выживает, но не может размножиться». Kuhn, Young and Marco (2020) [6] показывают, что широко распространенные нарушения основных предположений о процессе цитирования публикаций, наряду с резкими изменениями в практике цитирования с течением времени, угрожают достоверности и надежности показателей, основанных на цитировании.

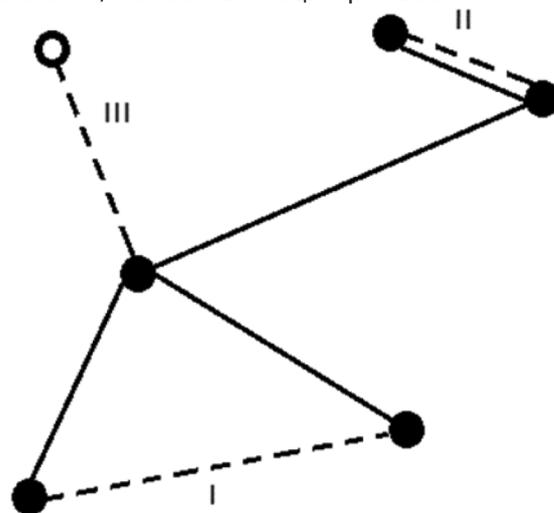


Рис. 1. Сплошные линии — существующие связи; пунктирные линии — будущие связи; черные точки — существующие узлы; белая точка — новая вершина, отсутствующая исходно; I — 1 тип связи (новая); II — 2 тип связи (повторение существующей); III — 3 тип связи (новая связь с новым узлом)

Другие подходы из сегмента «контекстный анализ» основаны на появлении новых терминов в тексте публикаций, где первое появление термина указывает на появление новой идеи, а растущее использование термина указывает на влияние публикации на развитие научной области — актуальность. В этих подходах обычно применяются современные методы машинного обучения и анализа текста, которые снижают шум за счет исключения неспецифических терминов и захвата многословных фраз, синонимов, акронимов и аббревиатур. Компьютерный алгоритм с доступом к большому корпусу опубликованных научных исследований потенциально может действительно внести новый вклад в науку. Модель машинного обучения, способная предлагать новые полезные идеи или потенциальные направления исследований, обязательно потребует доступа к опубликованной научной литературе, которая, по крайней мере частично, формирует совокупность человеческих знаний в научной области (Evans, 2011) [7].

Знания можно изобразить с помощью семантических сетей, которые представляют связи (ребра) между узлами (терминами) в графе (Lehmann, 1992) [8]. Одной из важнейших типовых задач в сетевом анализе графов является предсказание связей при переходе графа в будущее состояние:  $G(T) \rightarrow G'(T+1)$ , где  $T$  — текущий момент времени,  $T+1$  — момент времени для прогноза. Ее решение отвечает на два вопроса: 1) какая новая связь будет сформирована между несвязанными узлами (новизна); 2) какая из существующих связей будет повторена (актуальность). Это позволяет делать прогнозы о тенденциях исследований в научной дисциплине в форме предсказания пар терминов, которые появятся в будущих публикациях с определенной вероятностью (Krenn et al, 2020) [9]. На рисунке 1 приведено представление сети знаний в виде графа, в котором узлами являются термины предметной области, а ребрами — факт присутствия этих понятий в одной научной публикации.

Настоящее исследование проводилось с использованием информационных ресурсов статуса Open Source. Исследование шло по этапам, основное содержание которых и последовательность представлены в таблице 1.

Для поиска публикаций, подходящих для ответа на исследовательский вопрос В1, было использовано приложение PorP с подключением к БД Google Scholar с охватом источников, датированных в интервале 01.01.2015-31.12.2022 с сортировкой по снижению релевантности. Были применены поисковые модели «real estate OR property» — по разделу «Заголовки» и «residential OR housing» — по разделу «Ключевые слова». С учетом возможной блокировки аккаунта из-за парсинга на серверах Google Scholar удалось получить результат поиска в объеме 997 публикаций.

Таблица 1.

Этапы исследования

№ этапа	Наименование этапа	Информационные ресурсы	Основание для использования
1	Формирование корпуса, БД	приложение PorP, Google Scholar	Open Source, free аккаунт Google
2	Составление словаря ключевых слов	сервис Google Sheets	free аккаунт Google
3	Разметка датасета	сервис Google Sheets	free аккаунт Google
4	Формирование двудольного графа	Библиотека Python scikit-network, среда Colab Notebooks	Free software: BSD license, free аккаунт Google
5	Решение задачи прогнозирования связей графа	Библиотека Python scikit-network, среда Colab Notebooks	Free software: BSD license, free аккаунт Google
6	Интерпретация прогноза	сервис Google Sheets	free аккаунт Google

ББД — библиографическая база данных

База данных корпуса после выгрузки из приложения содержит колонки текстовых реквизитов — «Заголовок», «Ключевые слова», «Абстракт», которые могут служить источником для формирования набора ключевых слов — представления семантики статьи. Однако попытка автоматического извлечения из текстовых полей такого набора с помощью сервиса KeyBERT не привела к успеху: экспертный анализ сопоставления полного текста 20 публикаций и экстрагированных таким образом наборов ключевых слов выявил в последних упущения важнейших терминов. Поэтому было принято решение о проведении экспертной разметки, обогащающей имеющиеся реквизиты корпуса. К каждой записи корпуса было добавлено 5 ключевых слов, выявленных экспертами на основании анализа текстовых реквизитов, а также на основании просмотра полного текста публикации при возможности доступа. При этом первое (1) из ключевых слов всегда содержало термин с объектом исследования, третье (3) — термин с обозначением основного метода исследования; остальные (2,4,5) — содержали либо детерминанты, либо дополнительные методы исследования (в случае применения нескольких методов). По мере разметки заполнялся словарь ключевых слов для исключения описания одной сущности синонимичными терминами. Разметка была произведена для 215 публикаций с наивысшим рейтингом.

Для представления семантической сети корпуса была выбрана модель ненаправленного двудольного графа, одна часть которого содержит узлы с объектами исследования, а другая — все остальные типы ключевых слов. Это исключило возможность прогноза будущих связей между двумя разными объектами исследования, двумя

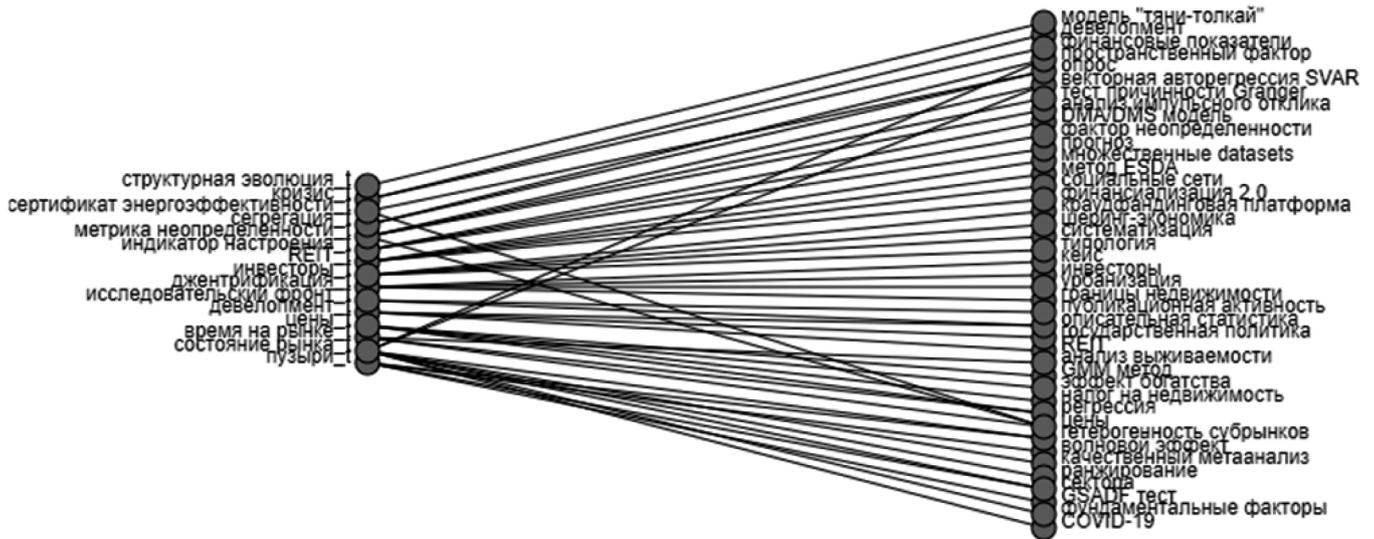


Рис. 2. Фрагмент семантической сети экономико-управленческих публикаций сферы недвижимости в виде двудольного графа

разными детерминантами, двумя разными методами. Таким образом, среди предсказываемых пар терминов будут пары двух видов: 1) (объект исследования) — (метод) и 2) (объект исследования) — (детерминанта). Данная модель графа была реализована в интерактивной среде Colab Notebooks с помощью библиотеки Python scikit-network [10]. Матрица сопряжения этого графа имеет размерность (78x253) и содержит 561 элемент. На рисунке 2 представлен фрагмент двудольного графа, сформированного из корпуса. Слева на рисунке 2 представлены термины, представляющие объект исследования, справа — термины, описывающие детерминанты и методы.

Предсказание связей графа было произведено с помощью метода ближайших соседей в пространстве вложения пониженной размерности, реализованного в библиотеке scikit-network. В этой реализации библиотеки интегрированы снижение размерности двудольного графа методом спектрального разложения (другое название лапласианские собственные карты) с последующим поиском в полученном евклидовом пространстве пар-соседей, наиболее близких по критерию косинусного сходства [10]. Предполагается, что задача прогнозирования связей графа может быть сведена к решению проблемы поиска ближайших пар, примененной к набору векторов. Это означает, что алгоритм будет искать пары векторов, угол между которыми минимален, и они являются максимально сонаправленными. Снижение размерности матрицы сопряжения в библиотеке scikit-network предусмотрено для возможности решения типовых задач сетевого анализа для больших сетей с числом узлов или связей >10k. Конечно, хорошо известные предикторы (Common neighbours, Jaccard's coefficient, Katz, Rooted Page Rank и др.) прекрасно справляются с решением задачи прогноза на сетях небольшого размера. Однако время выполнения прогноза связей по этим предикторам

на больших и даже на средних сетях настолько велико, что решение становится просто невыполнимым [11]. Таким образом, возникает настоятельная потребность в сокращении размерности исходной матрицы сопряжения графа. Качество решения последующих типовых задач (кластеризация, классификация, прогноз) критически зависит от вложения, которое должно точно представлять структуру графа. Обычные методы встраивания графов основаны на эвристике, согласно которой узлы, находящиеся близко в графе по некоторой метрике подобия также должны быть близки в пространстве вложения. Тогда вложение является некоторой оптимизационной задачей. Классическое вложение неориентированных графов основано на спектральном разложении лапласиана. После надлежащей нормализации расстояние между узлами в пространстве вложения соответствует среднему времени коммутации случайного блуждания в графе, что делает это вложение содержательным и простым для интерпретации.

В нашем эксперименте были выбраны рекомендуемые в библиотеке scikit-network параметры: число ближайших соседей — 5, порог вероятности >0,9, метод встраивания — «Spectral». Матрица сопряжения предсказанных связей имеет размерность (78x253) и содержит 374 элемента. По каждому из 78 элементов объекта исследования предложено пять наиболее вероятных связей с указанием значения вероятности на пересечении строк (элементы объектов исследования) и рядов (элементы детерминант и методов исследования). Время работы оператора прогноза библиотеки scikit-network — менее 1 сек.

В результате решения задачи прогнозирования новых (тип 1) и повторных связей (тип 2) получен список пар терминов в порядке убывания вероятности их по-

явления. В таблице 2 представлены 10 наиболее вероятных пар новых связей.

Таблица 2.

Прогноз наиболее вероятных пар новых связей между терминами корпуса

Вероятность	Объект исследования	Детерминанты, метод
0.9999487637707289	ведомственное жилье_t	молодежь*
0.9999315149121626	норма амортизации_t	прогноз
0.9999281193347704	маркетплейсы_t	модель системной динамики
0.999912825567283	инвесторы_t	качественный мета-анализ
0.9999115877708785	пригородное фермерство_t	R&D*
0.9998561238565083	инклюзивность_t	налог на аренду*
0.999784145297242	импульсивные покупки_t	модель системной динамики
0.9997684967350187	ведомственное жилье_t	эмоциональные решения*
0.9997204651143763	поведенческий фактор_t	маргинализация*

Примечание. Знаком «\*» отмечены детерминанты, термины без «\*» — методы

Как видно из таблицы 2, среди наиболее вероятных новых связей с типом пары (объект исследования) — (детерминанта) было спрогнозировано появление пар, связанных с тематикой параметров ведомственного жилья в зависимости от возраста и поведенческих факторов, пригородного фермерства — от фактора развитости инновационности, инклюзивности — от размера налога на аренду, поведенческих факторов — от степени маргинализации. В качестве методов изучения указанных объектов будущих исследований предполагаются прогноз, модель системной динамики, качественный мета-анализ.

Обращает на себя внимание то, что наиболее высоким рейтингом прогноза и повторяемостью в корпусе публикаций в области недвижимости с точки зрения новизны обладают две темы: ведомственное жилье и поведенческие аспекты как в качестве объекта исследования, так и в качестве детерминант.

Таким образом, можно предполагать, что эти две темы дадут наибольший вклад для параметра «новизна» при формировании исследовательского фронта в обсуждаемой предметной области. В таблице 3 представлены 10 наиболее вероятных пар повторных связей.

Таблица 3.

Прогноз наиболее вероятных пар повторных связей между терминами корпуса

Вероятность	Объект исследования	Детерминанты, метод
0.9999994494158163	старение на месте_t	метод Röring*
0.9999994494158162	старение на месте_t	трансформация жилья*
0.999998383450689	сожаление о сделке_t	модель системной динамики
0.9999980342860186	ведомственное жилье_t	маргинализация*
0.9999979292116439	благополучие_t	площадь жилья*
0.9999975363971203	поведенческий фактор_t	корреляционная матрица
0.9999975157679534	мобильное жилье_t	предубеждение «недв>дв»*
0.9999965431308084	спекуляции_t	импульсивные покупки*
0.9999965431308084	спекуляции_t	иррациональность*

Примечание. Знаком «\*» отмечены детерминанты, термины без «\*» — методы

Как следует из таблицы 3, среди наиболее вероятных повторных связей с типом пары (объект исследования) — (детерминанта) было спрогнозировано появление пар, связанных с тематикой концепции «старение населения на месте», параметров ведомственного жилья в ассоциации со степенью маргинальности, индекса благополучия в зависимости от площади жилья, развития концепции мобильного жилья и спекулятивного поведения — в зависимости от разнообразных форм поведенческих аспектов. В рамках применения концепции «старение населения на месте» проводилось изучение факторов, способствующих проживанию престарелых людей с потерей мобильности и ограниченными возможностями в привычной им домашней обстановке. В качестве методов изучения указанных объектов будущих исследований предполагаются модель системной динамики и построение корреляционной матрицы. Наиболее высоким рейтингом прогноза и повторяемостью в корпусе публикаций в области недвижимости с точки зрения актуальности обладают темы: старение на месте, ведомственное жилье, благополучие, спекуляции, а также многочисленные проявления поведенческих аспектов как в качестве объекта исследования, так и в качестве детерминант. Таким образом, можно предполагать, что перечисленные темы дадут наибольший вклад для параметра «актуальность» при формировании исследовательского фронта в обсуждаемой предметной области.

И, наконец, если сопоставить данные прогноза по сегментам «новизна» и «актуальность», то можно отметить, что две темы — ведомственное жилье и поведенческие

аспекты применительно к недвижимости — присутствуют как в первом, так и во втором. Из данного обстоятельства можно сделать вывод о том, что эти две тематики обладают признаками как новизны, так и актуальности в сложившемся научном ландшафте области недвижимости, и по ним можно с достаточной долей вероятности ожидать публикаций либо углубляющих ранее изученные ассоциации либо применяющих к изученным ассоциациям иные методы (актуальность), с одной стороны, либо вовлекающим в их изучение новые ранее не исследованные детерминанты и методы (новизна), с другой стороны.

Отметим несколько важных особенностей проведенного исследования.

1. Несмотря на ранее опубликованные работы с применением теории графов к предсказанию новых пар терминов в корпусе предметной области [9, 12–15], нам неизвестны примеры применения теории графов к исследованию сегмента «актуальность». Наше предположение о применимости представления свойства актуальности в виде повторных связей между терминами-узлами позволило преодолеть этот пробел.
2. При обзоре ранее проведенных исследований по тематике представления семантической сети в форме ключевых слов нам не встречалось введения объектности элементов набора ключевых слов. В силу этого в опубликованных примерах прогнозов формирования новых связей можно часто встретить ничтожные по смыслу пары двух методов исследования, или пары двух объектов исследования. Нами же введено новое представление семантики в форме набора ключевых слов, каждое из которых играет определенную роль — либо объект исследования, либо детерминанта, либо метод, то есть проведена типизация. Дальнейшее развитие такого подхода обусловило применение в нашей работе не однодольной, а двудольной модели графа. В идеале следовало бы применить трехдольную модель (по числу ролей ключевых слов), однако мы не смогли отыскать промышленных библиотек сетевого анализа, реализующих такую модель, поэтому ограничились двудольной.
3. Вынужденная экспертная разметка корпуса лишает нас возможности назвать применяемый нами конвейер обработки корпуса автоматическим фреймворком. В большинстве ранее опубликованных работ этап автоэкстракции присутствует, при этом для автоматической экстракции ключевых слов из текстовых фрагментов авторы применяют самые разные сервисы. В то же время Khan et al (2022) [16], проведя сравнительное исследование пакета KeyBert и иных распространенных экстракторов ключевых слов, делают заключение

о преимуществе KeyBert. Поэтому в нашей работе мы сделали попытку автоэкстракции ключевых слов из текстовых полей «Заголовки»+«Абстракт» с применением KeyBert. К сожалению, даже лучший из существующих экстракторов плохо справился со своей функцией, и нами была признана его несостоятельность для цели нашей работы. Поэтому был выбран метод экспертной разметки корпуса с общеизвестными недостатками этой методики — ресурсоемкостью, длительным временем, элементами субъективизма. Ресурсоемкость и стала основной причиной того, что размеченными оказались только 215 публикаций из 997. Одновременно с разметкой был произведен перевод ключевых слов на русский язык для возможности представления результатов работы в русскоязычном паблике.

4. Сопоставление результатов настоящей работы с нашей предшествующей публикацией [2], в которой был произведен качественный мета-анализ 10 исследований, посвященных выявлению исследовательских тенденций в сфере недвижимости, показало их частичное совпадение. Так, выводы настоящей работы подкрепили предыдущий результат о наличии разнообразных поведенческих аспектов во фронтине исследований в области недвижимости. В то же время появление в нынешнем прогнозе направления «ведомственное жилье» является весьма неожиданным. Кроме того, общей явилась тема влияния возрастных групп населения на параметры жилья, в частности прослеживается акцент на старение населения и связанной с этим проблеме инклюзивности. В то же время в настоящей работе не нашли подтверждения тренды в методах исследований проблем недвижимости, выявленные ранее: в качестве прогнозов предложены ставшие уже традиционными метод качественного мета-анализа, корреляционная матрица, модель системной динамики, как представитель класса имитационного моделирования. В то же время настоящий прогноз не обратил внимания на методы подхода data-driven. Тем не менее, настоящая работа, по нашему мнению, является первой, в которой сетевой анализ применен к проблеме выявления компонентов исследовательского фронта — новизне и актуальности — в контексте научной проблематики дисциплины «недвижимость».
5. Еще одной слабостью нашей работы может быть признано отсутствие этапа валидации построенной сетевой модели. Однако это ограничение обусловлено ранее обсуждавшейся причиной — небольшим объемом датасета. Малый объем разметки корпуса не позволил выделить полноценные набор для обучения модели и тестовый набор без потери существенного объема содержатель-

ной информации и дать количественную оценку эффективности полученной сетевой модели.

6. Учитывая динамический процесс эволюции семантических сетей на основе публикационной активности, увязанной с временной осью, целесообразно использовать параметр времени при прогнозировании будущих связей в графах. Модели динамических графов становятся уверенным восходящим трендом в сетевом анализе в последнее время (Kazemi 2022) [17]. В то же время эта область является в большой степени исследовательской, лабораторной, и промышленные фреймворки для реализации динамических моделей пока отсутствуют. Тем не менее, перспективность динамического подхода привлекает к себе все больше аналитиков разных предметных областей. Поэтому в качестве будущих направлений развития темы, затронутой в настоящей работе, можно порекомендовать решить поставленную здесь проблему методом динамических графов.

В нашей работе продемонстрирована применимость сетевого анализа для целей идентификации новизны и актуальности терминов и направлений в сложившемся корпусе научных публикаций. Такая демонстрация была приведена на примере датасета публикаций, выгруженных из научно-исследовательской библиографической базы Google Scholar. Предлагаемая методика может быть применена для любой предметной области и научной

дисциплины. В методическом аспекте настоящая работа вносит вклад в сектор количественных библиометрических методов познания научно-исследовательских фронтов научных дисциплин. Новизна нашей работы состоит в представлении аспекта «актуальность» в форме прогноза наиболее вероятных повторных связей между терминами семантической сети, а также в типизации терминов на объекты исследования, детерминанты, методы исследования. Отмеченные в разделе 5 слабые стороны примененной методики могут при их преодолении стать в свою очередь дополнительными точками роста эффективности метода. Особенно перспективным выглядит изучение применимости модели динамических графов к обсуждаемой проблеме поиска исследовательского фронта. В прикладном аспекте результатом нашей работы стал ответ на исследовательский вопрос: идентифицированы два перспективных направления для будущих исследований, имеющие признаки актуальности и новизны в доступном корпусе публикаций, которые с высокой долей вероятности могут считаться включенными в исследовательский фронт в сфере недвижимости — «ведомственное жилье» и «поведенческие аспекты». Кроме перечисленных в качестве других перспективных направлений в исследованиях недвижимости выполненный прогноз предлагает к будущему изучению следующие темы: норма амортизации, маркетплейсы, пригородное фермерство, инклюзивность, старение населения, мобильное жилье, спекуляции на рынке жилья.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fleming, L., 2001. Recombinant uncertainty in technological search. *Management Science* 47 (1), 117–132.
2. Tarasyev A.M., Mikhailov D.V. (2022) Real Estate Research Trends: An Overview foreign scientific publications. Mazov, N.A., Gureev, V.N. & Glinskikh, V.N. *The Methodological Basis of Defining Research Trends and Fronts. Sci. Tech. Inf. Proc.* 47, 221–231 (2020).
3. Bixuan Sun, Sergey Kolesnikov, Anna Goldstein, Gabriel Chan, A dynamic approach for identifying technological breakthroughs with an application in solar photovoltaics, *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 165, 2021, 120534, ISSN 0040-1625, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120534>.
4. Mokyr, J., 1990. Equilibria and technological progress. *The American Economic Review* 80 (2), 350–354.
5. Kuhn, J.M., Younge, K.A., Marco, A.C., 2020. Patent citations reexamined. *The RAND J Economics* 51 (1), 109–132.
6. J.A. Evans, A. Rzhetsky, Advancing science through mining libraries, ontologies, and communities. *J. Biol. Chem.* 286, 23659–23666 (2011).
7. F. Lehmann, *Semantic Networks in Artificial Intelligence* (Elsevier Science Inc., 1992).
8. Krenn, M. & Zeilinger, A. Predicting research trends with semantic and neural networks with an application in quantum physics. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 117, 1910–1916 (2020).
9. Thomas Bonald, Nathane Lara, Quentin Lutz, Bertrand Charpentier, Scikit-network: Graph Analysis in Python, *Journal of Machine Learning Research*, 21(185):1–6, 2020.
10. Benjamin Pachev, Benjamin Webb, Fast link prediction for large networks using spectral embedding, *Journal of Complex Networks*, Volume 6, Issue 1, February 2018, Pages 79–94, <https://doi.org/10.1093/comnet/cnx021>.
11. Kim K, Jang SG, Lee KS. A Network Analysis of Research Topics and Trends in End-of-Life Care and Nursing. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jan 4;18(1):313. PMID: 33406715; PMCID: PMC7795048. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010313>
12. Jung, H., & Lee, B.G. (2020). Research trends in text mining: Semantic network and main path analysis of selected journals. *Expert Systems with Applications*, 162, [113851]. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113851>.
13. Muhan Zhang and Yixin Chen. 2018. Link prediction based on graph neural networks. In *Proceedings of the 32nd International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'18)*. Curran Associates Inc., Red Hook, NY, USA, 5171–5181.
14. Chen Jicheng, Chen Hongchang, Li Hanchao, «Study on a New Method of Link-Based Link Prediction in the Context of Big Data», *Applied Bionics and Biomechanics*, vol. 2021, Article ID 1654134, 7 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/1654134>.
15. Khan MQ, Shahid A, Uddin MI, Roman M, Alharbi A, Alosaimi W, Almalki J, Alshahrani SM. Impact analysis of keyword extraction using contextual word embedding. *PeerJ Comput Sci.* 2022 May 30;8:e967. doi: 10.7717/peerj-cs.967. PMID: 35721401; PMCID: PMC9202614.
16. Kazemi, S.M. (2022). *Dynamic Graph Neural Networks*. In: Wu, L., Cui, P., Pei, J., Zhao, L. (eds) *Graph Neural Networks: Foundations, Frontiers, and Applications*. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-6054-2\\_15](https://doi.org/10.1007/978-981-16-6054-2_15).

© Тарасьев Александр Михайлович; Михайлов Дмитрий Владимирович (mikhailovdv@e1.ru);

Тарасьев Александр Александрович

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ПОВСЕДНЕВНОЙ ЖИЗНИ

## NEURAL NETWORKS IN EVERYDAY LIFE

G. Tyukin

*Summary.* Today neural networks have become a part of our daily life. They are used in various fields, such as autopilot, traffic management (traffic lights), the use of individual actions and more.

The article will examine how neural networks are used in each of these areas. It will be discussed how this innovative approach is changing our world, and what advantages it has compared to traditional methods.

The article will be interesting not only for professionals in the field of science and technology, but also for a wide range of readers who are interested in how the latest technologies can improve our lives.

*Keywords:* neural networks, artificial intelligence, autopilot, natural language processing, recommendation systems, autonomous systems.

## Введение

В последние годы нейронные сети, искусственный интеллект и машинное обучение стали неотъемлемой частью нашей жизни. Они применяются в различных областях, начиная от медицины и финансов, заканчивая играми и искусством. Одним из наиболее важных направлений применения этих технологий является прогнозирование и классификация данных. С помощью нейронных сетей можно обрабатывать огромные объемы информации и выявлять скрытые закономерности, что позволяет делать точные прогнозы и классифицировать данные. Нейронные сети используются для обработки изображений и естественного языка, что открывает новые возможности в области компьютерного зрения и обработки текстов. В данной статье мы рассмотрим основные принципы работы нейронных сетей, их применение в различных областях и перспективы развития данной технологии.

Нейронные сети — это сложные компьютерные алгоритмы, которые воспроизводят работу головного мозга человека. Они состоят из множества связанных между собой узлов, которые способны обрабатывать данные и находить закономерности в информации.

Значение нейронных сетей для общества трудно переоценить. Эти алгоритмы используются в различных областях, начиная от медицины и фармацевтики, заканчивая финансовыми и промышленными отраслями. Например, они позволяют определять риски заболеваний с большей точностью, создавать новые лекарства, прогнозировать эффективность инвестиций и автоматизировать производственные процессы.[1]

Тюкин Глеб Сергеевич

ООО «ИТ СОМЭКС» (г. Архангельск)

tukin.g@yandex.ru

*Аннотация.* Сегодня нейронные сети стали частью нашей повседневной жизни. Они применяются в различных сферах, таких как автопилот, организация дорожного движения (светофоры), применение индивидуальных акций и другое.

В статье будет рассмотрено, как нейронные сети используются в каждой из этих областей. Будет обсуждаться, как этот инновационный подход меняет наш мир, и какие преимущества он имеет по сравнению с традиционными методами.

Статья будет интересна не только профессионалам в области науки и технологий, но и для широкого круга читателей, которые интересуются тем, как новейшие технологии могут улучшить нашу жизнь.

*Ключевые слова:* нейронные сети, искусственный интеллект, автопилот, обработка естественного языка, системы рекомендаций, автономные системы.

Нейронные сети также нашли широкое применение в сфере искусственного интеллекта. Они используются для распознавания речи и образов, создания чат-ботов и автоматизации рутинных задач.

Автопилот — технология, которая вскоре может стать неотъемлемой частью нашей жизни. Самоуправляемые машины, которые находятся в разработке еще с 2000-х годов, стали доступными широкой публике, и на сегодняшний день компании, такие как Tesla, Waymo, Uber и другие, активно работают в этом направлении.[2]

Автопилот представляет собой систему, которая позволяет машинам управляться без участия водителя. Она основывается на комплексе технологий, таких как компьютерное зрение, лидары, радары и другие, которые собирают данные с внешней среды и помогают автомобилю принимать решения в режиме реального времени.

Дорожное движение — это сложная система, в которой участвуют множество участников: пешеходы, водители автомобилей и велосипедисты. Чтобы избежать аварий и обеспечить безопасность на дороге, необходимо строго регулировать движение. Для этого используются различные способы организации дорожного движения, в том числе и светофоры.

Светофоры — это устройства, позволяющие регулировать движение транспорта и пешеходов на перекрестках и в других местах дорожного движения. Они работают по принципу смены цветов сигнала: красный — стоп, зеленый — ехать, желтый — готовность к движению или предупреждение об окончании зеленого цвета.

Главной задачей светофора является регулирование потока транспорта и пешеходов на перекрестке, что позволяет минимизировать вероятность ДТП. Они также облегчают движение транспорта, ускоряют процесс проезда через перекрестки и снижают заторы на дороге.

Нейронные сети являются одним из самых инновационных и перспективных направлений в современной науке. Они используются в различных сферах нашей жизни, в том числе в автомобильной индустрии. Нейронные сети позволяют оптимизировать движение на дорогах, что может существенно повысить безопасность дорожного движения.

### Цель исследования

Целью данного исследования является изучение основных принципов работы нейронных сетей, а также их применения в различных областях. Мы также рассмотрим перспективы развития данной технологии и ее влияние на нашу жизнь.

### Методы исследования

Для достижения поставленной цели мы будем использовать следующие методы исследования:

1. Анализ литературы: мы проведем обзор научных статей, книг и других публикаций, посвященных нейронным сетям и их применению в различных областях.
2. Изучение примеров использования нейронных сетей: мы рассмотрим конкретные примеры применения нейронных сетей в медицине, финансах, играх и искусстве.
3. Экспериментальные исследования: мы проведем некоторые эксперименты с использованием нейронных сетей, чтобы лучше понять их принципы работы и возможности.
4. Интервью с экспертами: мы проведем интервью с экспертами в области нейронных сетей, чтобы получить более глубокое понимание технологии и ее перспектив.
5. Сравнительный анализ: мы сравним различные типы нейронных сетей и методы их применения в различных областях, чтобы выявить наиболее эффективные решения.

В результате проведенного исследования мы сможем более глубоко понять принципы работы нейронных сетей и их применение в различных областях, а также определить перспективы развития данной технологии. Это может помочь нам лучше понимать, как нейронные сети влияют на нашу жизнь и как мы можем использовать эту технологию для решения различных задач.

Нейронные сети в повседневной жизни нашли широкое применение в системном анализе, управлении

и обработке информации. Например, они используются в автопилотах для автоматического управления автомобилем, в организации дорожного движения для оптимизации работы светофоров, в применении индивидуальных акций для анализа рынка ценных бумаг и других финансовых инструментов.

### Статистическая обработка данных

Согласно исследованию MarketsandMarkets, рынок нейронных сетей ожидается вырасти с 7,44 миллиарда долларов в 2018 году до 23,39 миллиарда долларов к 2023 году, с годовой ставкой роста в 25,4 %. Это свидетельствует о том, что применение нейронных сетей в повседневной жизни будет продолжать расти и развиваться.

Применение нейронных сетей в автопилотах уже давно не новость. Компания Tesla активно использует нейросети для автоматического управления своими автомобилями. Система нейронных сетей обрабатывает данные с камер и датчиков, чтобы определить, куда движется автомобиль, и принимает решения об управлении машиной на основе этой информации.[3]

В организации дорожного движения нейронные сети используются для управления светофорами. Например, в городе Лос-Анджелес система нейронных сетей оптимизирует работу светофоров на перекрестках, чтобы уменьшить задержки и улучшить поток транспорта.

Нейронные сети также применяются для индивидуальных акций и анализа рынка ценных бумаг. Это позволяет инвесторам принимать более точные решения на основе данных и прогнозов, которые генерируются нейросетями.

Согласно исследованию компании PwC, рынок искусственного интеллекта в России в 2019 году составил около 1 миллиарда долларов. При этом наибольший рост ожидается в сферах здравоохранения, банковского сектора и производства.[4]

Применение нейронных сетей в России также активно используется в сфере медицины. Например, компания «МедСкан» разработала систему, которая на основе нейронных сетей позволяет автоматически анализировать рентгеновские снимки и выявлять на них заболевания легких.

В банковском секторе нейронные сети применяются для анализа кредитных заявок и определения кредитоспособности заемщиков. Это позволяет банкам принимать более точные решения и снижать риски.

Нейронные сети также используются в производстве для оптимизации процессов и повышения эффективности работы оборудования.

Таблица 1.

Применение нейронных сетей в России: обзор рынка и примеры использования

Медицина	Автоматический анализ рентгеновских снимков для выявления заболеваний легких
Банковский сектор	Анализ кредитных заявок и определение кредитоспособности заемщиков
Производство	Оптимизация процессов и повышение эффективности работы оборудования
Транспорт	Прогнозирование трафика и оптимизация маршрутов для грузоперевозок
Реклама	Персонализация рекламных кампаний на основе анализа поведения пользователей в интернете
Энергетика	Оптимизация работы электростанций и управление энергосистемами
Сельское хозяйство	Анализ данных о погоде и почве для прогнозирования урожайности и оптимизации процессов выращивания растений
Образование	Автоматическое распознавание и оценка работы студентов, персонализация обучения
Туризм	Рекомендации по выбору отелей и маршрутов на основе предпочтений пользователей и анализа данных о предыдущих поездках
Государственное управление	Анализ данных и прогнозирование результатов реформ и законодательных инициатив

В таблице представлены различные сферы применения машинного обучения и примеры использования. Машинное обучение может быть полезно во многих отраслях, таких как транспорт, реклама, энергетика, сельское хозяйство, образование, туризм и государственное управление. Примеры применения машинного обучения включают прогнозирование трафика, персонализацию рекламных кампаний, оптимизацию работы электростанций, анализ данных о погоде и почве для прогнозирования урожайности, автоматическое распознавание и оценку работы студентов, рекомендации по выбору отелей и маршрутов и анализ данных для прогнозирования результатов реформ и законодательных инициатив.

**Результаты исследования**

Исследование MarketsandMarkets показало, что рынок нейронных сетей ожидается вырасти с 7,44 миллиарда долларов в 2018 году до 23,39 миллиарда долларов к 2023 году, с годовой ставкой роста в 25,4 %. Применение нейронных сетей в повседневной жизни будет продолжать расти и развиваться.[5]

В России наибольший рост ожидается в сферах здравоохранения, банковского сектора и производства. Например, компания «МедСкан» разработала систему,

которая на основе нейронных сетей позволяет автоматически анализировать рентгеновские снимки и выявлять на них заболевания легких. В банковском секторе нейронные сети применяются для анализа кредитных заявок и определения кредитоспособности заемщиков. В производстве нейронные сети используются для оптимизации процессов и повышения эффективности работы оборудования.

Машинное обучение может быть полезно во многих отраслях, таких как транспорт, реклама, энергетика, сельское хозяйство, образование, туризм и государственное управление. Примеры применения машинного обучения включают прогнозирование трафика, персонализацию рекламных кампаний, оптимизацию работы электростанций, анализ данных о погоде и почве для прогнозирования урожайности, автоматическое распознавание и оценку работы студентов, рекомендации по выбору отелей и маршрутов и анализ данных для прогнозирования результатов реформ и законодательных инициатив.

Нейронные сети могут использоваться и для создания автономных систем управления автомобилем, которые бы сами принимали решения по поводу маршрута и скорости движения. Такие системы могут взаимодействовать с другими автомобилями на дороге и оптимизировать движение в целом. Это позволит существенно уменьшить количество аварий на дорогах и обеспечить более комфортное и безопасное движение.

Таким образом, нейронные сети являются инновационным и перспективным направлением в автомобильной индустрии. Они позволяют оптимизировать движение на дорогах, снизить количество аварий и обеспечить более комфортное и безопасное движение для всех участников дорожного движения.

Одним из главных преимуществ использования нейронных сетей является то, что они могут обучаться, определяя лучшие пути движения на основе предыдущих опытов. Так что, чем больше машин будет использовать автопилот, тем лучше их работа становится. Ключевым преимуществом использования нейронных сетей является то, что они могут обрабатывать большие объемы информации и при этом сохранять эффективность предсказания без увеличения количества обрабатываемых данных. Более того, использование нейронных сетей может улучшить качество предсказаний, что ведет к увеличению удовлетворенности пользователей и повышению конкурентоспособности компании.

Таким образом, нейронные сети — это мощный инструмент, который может улучшить качество работы систем рекомендаций, что важно для дальнейшего развития онлайн-платформ и увеличения уровня удовлетворенности пользователей.

Системы рекомендаций являются незаменимыми в нашей жизни. Мы их используем в различных интернет-магазинах, в социальных сетях, где получаем информацию о нам подходящих контенте, услугах и товарах. Благодаря нейронным сетям, рекомендации перестали быть жесткими и стали более персонализированными и точными.[6]

При использовании нейронных сетей в системах рекомендаций, алгоритмы становятся более интеллектуальными и точными. Как правило, большинство традиционных систем рекомендаций используют идентификационные данные пользователей и создают зависимости от их предпочтений. Однако, нейронные сети улучшают качество этих алгоритмов. Они могут анали-

зировать данные социальных сетей, поисковых систем, и даже данные геолокации смартфонов пользователя, что позволяет получать более точную информацию о пользователе. Таким образом, рекомендованные продукты становятся более релевантными и индивидуальными.

Использование нейронных сетей в системах рекомендаций дает пользователям более простой и удобный интерфейс данных. Пользователи могут увидеть свои рекомендации в более понятном и удобном формате, такой как изображения или рейтинги. Это позволяет пользователям легче оценивать предметы и принимать взвешенное решение.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Амир Натта, Мохаммед Алазаб. «Neural Networks in Healthcare: Potentials and Challenges». *Journal of Medical Systems*, 2016.
2. Карпатская К.Н. «Нейронные сети для прогнозирования в экономике». *Мир Экономики и Управления*, 2016.
3. Хубертус Басте, Ян Тихон. «Нейронные сети для обработки естественного языка». *Журнал «Лесные промыслы»*, 2019.
4. Стивен Пинкертон. «Обучение нейронных сетей: введение в PyTorch». O'Reilly Media, 2019.2. Tesla. Autopilot. <https://www.tesla.com/autopilot>(дата обращения: 10.04.2023). — Текст: электронный.
5. Los Angeles Department of Transportation. Signal Optimization Program. <https://ladotlivablestreets.org/signal-optimization-program/>(дата обращения: 10.04.2023). — Текст: электронный.
6. PwC. Искусственный интеллект в России: прогнозы и реальность. <https://www.pwc.ru/ru/publications/artificial-intelligence-in-russia.html>(дата обращения: 10.04.2023). — Текст: электронный.

© Тюкин Глеб Сергеевич (tukin.g@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПОСТРОЕНИЕ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АКТИВА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## AUTOMATED CONSTRUCTION OF AN ENERGY ASSET DEVELOPMENT STRATEGY BASED ON MODELING

A. Tyukov  
A. Vishnevetsky

*Summary.* Description of the general purpose and functionality of the system for the automated construction of an energy asset development strategy (a set of generation and consumption components) based on modeling. Description of its structure and architecture. Description of the results of the implementation of the system and its effect on the energy industry. Prospects for using the system, impact on the energy industry. Development and presentation of an automated method for building a strategy for the development of an energy asset based on modeling. This study is based on the desire to optimize and improve the efficiency of planning and management of energy assets.

The study covers several areas of application of automated construction of an energy asset development strategy based on simulation and is aimed at developing a new automated method for constructing an energy asset development strategy based on simulation. This contributes to the development and improvement of the methodological approach to the planning and management of energy assets, enriches scientific practice and offers new tools for decision-making. The proposed automated method is of practical importance for energy market participants such as energy companies, regulators, investors and other stakeholders. It facilitates the process of developing strategies for the development of energy assets, allowing you to make more informed and informed decisions based on modeling and taking into account various factors.

*Keywords:* digitalization; digital transformation; energy transition; renewable energy sources; investments; energy asset; digital twin; big data; asset Management.

**Тюков Антон Павлович**

Канд. тех. наук, доцент, Волгоградский  
государственный технический университет  
Anton.tyukov@gmail.com

**Вишневецкий Андрей Романович**

Волгоградский государственный технический  
университет  
avishand@yandex.ru

*Аннотация.* Описание общего назначения и функциональности системы автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива (совокупности компонент генерации и потребления) на основе моделирования. Описание ее структуры и архитектуры. Описание результатов внедрения системы и ее эффекта на отрасль энергетики. Перспективы использования системы, влияние на отрасль энергетики.

Разработка и представление автоматизированного метода построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования. В основе данного исследования лежит стремление к оптимизации и повышению эффективности процессов планирования и управления энергетическими активами.

Исследование охватывает несколько сфер применения автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования и направлено на разработку нового автоматизированного метода построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования. Это способствует развитию и совершенствованию методологического подхода к планированию и управлению энергетическими активами, обогащает научную практику и предлагает новые инструменты для принятия решений. Предложенный автоматизированный метод имеет практическую значимость для участников рынка энергетики, таких как энергетические компании, регуляторы, инвесторы и другие заинтересованные стороны. Он облегчает процесс разработки стратегий развития энергетических активов, позволяя принимать более обоснованные и информированные решения, основанные на моделировании и учете различных факторов.

*Ключевые слова:* цифровизация; цифровая трансформация; энергетический переход; возобновляемые источники энергии; инвестиции; энергетический актив; цифровой двойник; большие данные; управление активами.

### Введение

В последнее время регулярно обсуждаются нарастающие проблемы энергетики и экологии, решение которых в мировом масштабе в будущем не представляется возможным без широкого использования экологически чистых возобновляемых источников энергии (ВИЭ). В России и мире наблюдается интенсивный рост вводов ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанций. По результатам проведения конкурентных отборов проектов ВИЭ до конца 2025 г. в России должны быть введены в эксплуатацию ВЭС и СЭС суммарной установленной мощностью 5,28 ГВт [2]. Что касается

энергетического перехода в Европейском союзе, климатические цели должны быть достигнуты в соответствии с рамочной программой по климату и энергетике до 2030 г., которая будет осуществляться Директивой по возобновляемым источникам энергии (RED II) [7].

Энергосистемы, включающие ВИЭ, представляют собой сложные структуры, состоящие из различных компонентов, включая энергетические источники, передающие и распределительные сети, устройства управления и мониторинга. Каждый компонент играет важную роль в обеспечении надежной и эффективной работы системы в целом [3, 4]. В связи с этим возникает необходи-

мость проведения предварительных детальных испытаний планируемых к внедрению технологий и устройств, таких как солнечные панели и батарейные элементы для запаса электроэнергии, особенно в условиях, максимально приближенных к условиям их будущей эксплуатации.

Внедрение системы автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива позволит повысить эффективность процесса моделирования, сопровождая его, начиная от постановки задачи и получения входных параметров, и до конечного результата в виде отчета в формате PDF или Excel. Система имеет преимущество в том, что она может принимать запросы на моделирование через интерфейс приложения или API, то есть требует от заказчика только предоставление данных и необходимую конфигурацию оборудования.

### Литературный обзор

Литературный обзор, основанный на представленных источниках, охватывает тему внедрения распределенной генерации, проблемы, возникающие при этом, и технические моделирования работы распределительных сетей.

Исследование Илюшина, П.В. «Внедрение распределенной генерации. Анализ существующего опыта, возникающие проблемы, комплексное решение технических вопросов интеграции в распределительные сети» представляет анализ опыта внедрения распределенной генерации и выявляет возникающие проблемы. Работа сфокусирована на технических аспектах интеграции и предлагает комплексные решения для эффективной интеграции распределенной генерации в распределительные сети. Это исследование является ценным источником для понимания вызовов и решений в области распределенной генерации.

Доклад Европейского Союза «2030 Climate and Energy Policy Framework» представляет стратегию Европейского Союза в области климата и энергетики до 2030 года. Он описывает цели и меры, предпринятые ЕС для сокращения выбросов парниковых газов и стимулирования развития возобновляемых источников энергии. Этот документ важен для контекста политических и экономических аспектов внедрения распределенной генерации в Европе.

Исследование Ustun, T., Ozansoy, C. и Zayegh, A. «Modeling of a centralized microgrid protection system and distributed energy resources according to IEC 61850-7-420» представляет моделирование централизованной системы защиты микросети и распределенных энергетических ресурсов. Работа основана на стандарте IEC 61850-7-420 и рассматривает технические аспекты интеграции распределенной генерации в систему защиты.

В целом, представленные источники охватывают различные аспекты внедрения распределенной генерации. Они представляют ценную информацию для понимания текущего состояния и вызовов, связанных с распределенной генерацией, а также предлагают решения и рекомендации для успешной интеграции в электрические сети.

### Описание принципиального решения

Система автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования представляет из себя систему поддержки принятия решений, позволяющая оценить целесообразность внедрения технологий и устройств, проводя предварительные детальные испытания, основанные на моделировании работы объекта, которые максимально приближены к условиям их будущей эксплуатации. Она позволяет предоставить прогнозы эффективности различных стратегий развития и выявить потенциальные проблемы и риски, связанные с развитием энергетического актива [5], помогает оценить затраты на внедрение новых технологий и устройств. Это позволяет принимающим решениям выбрать наиболее экономически выгодные варианты развития энергетического актива. На рисунке 1 представлен отчет о периоде окупаемости инвестиции в энергетический актив. Срок окупаемости — это время, необходимое для возмещения инвестиций за счет сбережений. Инвестиция — красная полоса на графике. Синие столбцы — годовая экономия. На изображении ниже показан период окупаемости рекомендуемой конфигурации оборудования.

Ожидаемые результаты включают оптимизацию решений, улучшение процесса принятия решений, снижение рисков и достижение экономических преимуществ. Внедрение такой системы может значительно повысить эффективность и устойчивость развития энергетического актива, а также способствовать общественному благополучию и устойчивому развитию.

### Описание принципиального решения

Структура модуля автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования обычно включает три основных этапа: обработку данных, моделирование и составление отчета. Каждый из этих этапов выполняет свою функцию и является важной частью процесса принятия решений.

Система автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования использует микросервисную архитектуру, благодаря чему каждую задачу решает специализированный модуль [1]. Всего систему составляют 4 модуля: Metadata Framework, Data quality, Calculation Framework, Reporting

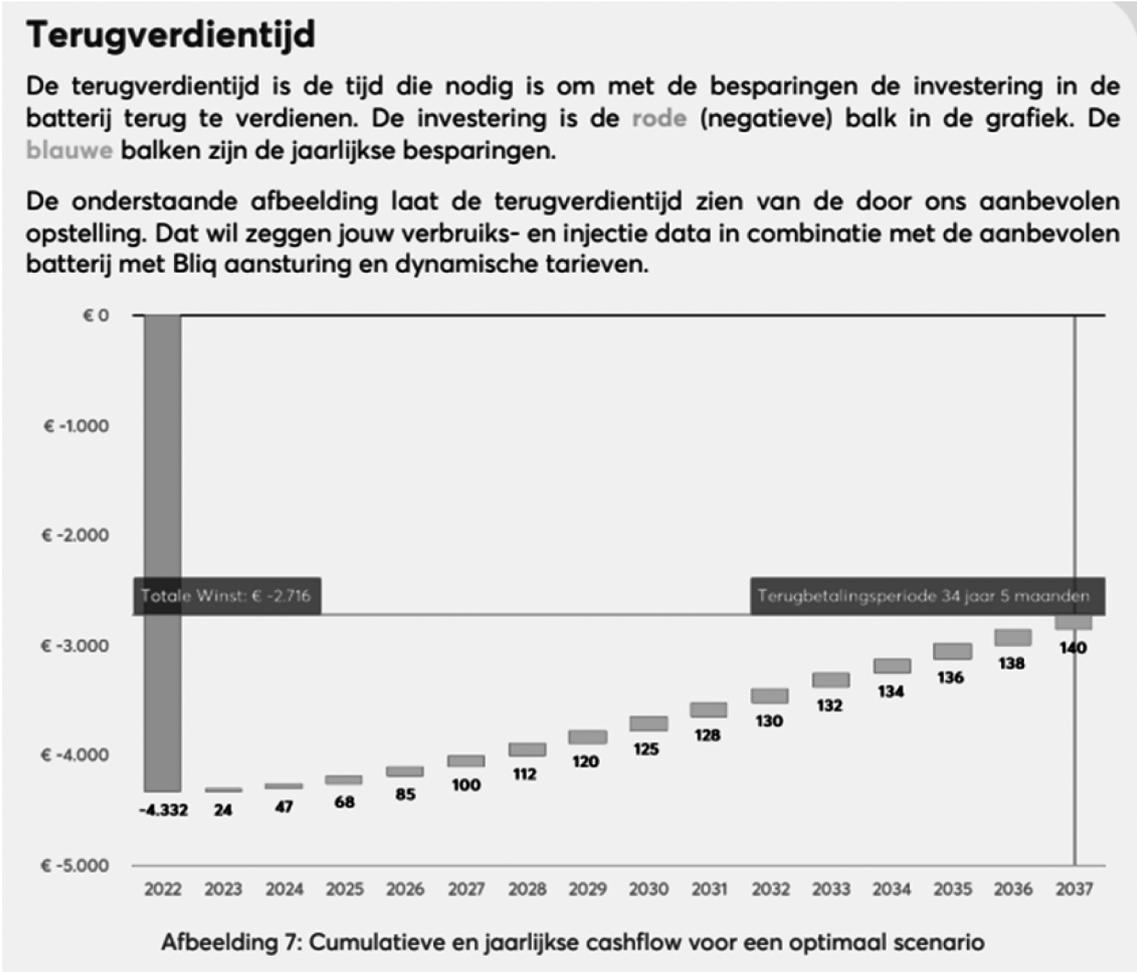


Рис. 1. Отчет с описанием периода окупаемости инвестиции

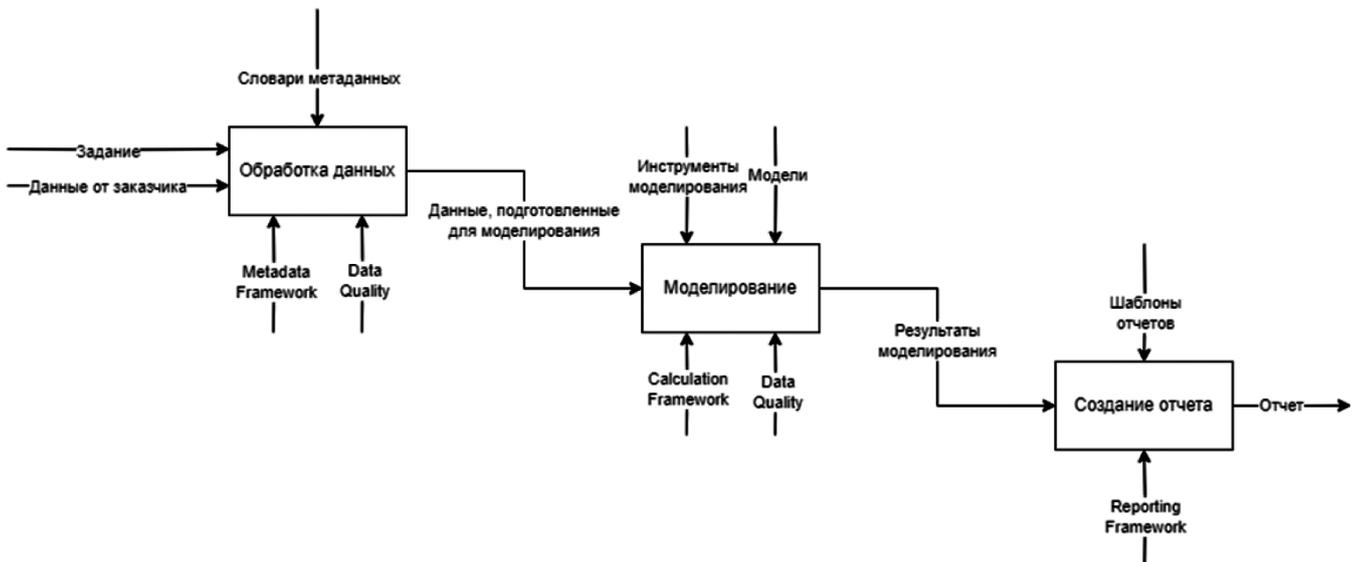


Рис. 2. Процесс автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива

Framework. Преимущество такой архитектуры приложения — это то, что каждый из модулей может использоваться отдельно вне системы, продолжая выполнять свои задачи.

Таблица 1.

Микросервисы составляющие систему автоматизированного построения стратегии развития энергетического актива на основе моделирования

Наименование микросервиса	Функция	Ключевой результат
Metadata Framework	Хранение и упрощение доступа к информации о спецификациях оборудования, тарифах на электроэнергию, погодных данных, параметрах симуляции.	Созданы словари метаданных, связанных с энергетической областью. В этих словарях хранится информация об оборудовании и сопутствующих параметрах, которые необходимы для моделирования работы энергетического актива.
Data quality	Улучшение качества данных. Автоматическая проверка, очистка, стандартизация и обогащение данных.	Повышено качество данных. Они очищены, преобразованы и подготовлены для дальнейшего использования.
Calculation Framework	Включает инструменты для моделирования и управления энергетическими технологиями в различных средах и на энергетических рынках. Создание моделей, запуск моделирования.	Построена модель работы энергетического актива. Проведена симуляция его работы.
Reporting Framework	Автоматическое создание и распространение отчетов.	Создан отчет на основе данных, полученных после моделирования.

#### Описание процесса обработки данных

Процесс обработки данных включает в себя несколько этапов. Первым этапом является предоставление клиентом данных о текущем состоянии актива, а также при наличии данных, собранных во время работы актива о производстве и потреблении электроэнергии. Все эти действия клиент может выполнить через API, предоставляемый сервисом.

Вторым этапом является добавление этих данных в Metadata Framework, который помогает создавать желаемую конфигурацию энергосистемы с использованием визуального интерфейса, а также генерировать JSON-файлы для моделирования продукта с помощью URL-запроса к конфигуратору [6,9].

Третьим этапом является прохождение данных через микросервис DataQuality. Этот микросервис предназна-

чен для идентификации, мониторинга и очистки данных, делая их пригодными для использования по назначению.

Результатом процесса является получение данных, которые соответствуют задачам моделирования.

#### Описание процесса моделирования

Процесс моделирования включает использование микросервиса Calculation Framework для имитации и моделирования различных комбинаций энергетических технологий. Этот процесс позволяет оценить эффективность и целесообразность внедрения определенных технологий и устройств в рамках стратегии развития энергетического актива [9].

Основной стратегией управления в модуле Calculation является модельный прогностический контроль (MPC). Она используется для принятия решений и определения оптимальных стратегий управления энергетическим активом. Модельный прогностический контроль основан на предварительной конфигурации оборудования, которая может быть взята из внешней базы данных.

В процессе моделирования производятся исторические оптимизации или симуляции на основе исторических временных рядов [6]. Это позволяет проводить анализ и оценку прошлых событий и результатов без учета неопределенности прогнозирования или оптимизации.

Однако для лучшей оценки результатов оптимизации и учета возможной неопределенности прогнозирования, в структуру моделирования включается неопределенность прогноза. Исторический контроль позволяет включить эту неопределенность и проводить более реалистичную оценку результатов оптимизации.

Процесс моделирования включает следующие шаги:

- загрузку данных о конфигурации оборудования;
- определение комбинаций энергетических технологий;
- проведение исторических оптимизаций или симуляций на основе исторических временных рядов;
- принятие решений на основе модельного прогностического контроля и оценка результатов оптимизации с учетом неопределенности прогноза.

В результате процесса моделирования получают оценки эффективности и потенциала различных комбинаций энергетических технологий, а также оптимальные стратегии управления энергетическим активом. Эти результаты помогают принимать информированные решения о внедрении технологий и устройств для дальнейшего развития энергетического актива [2].

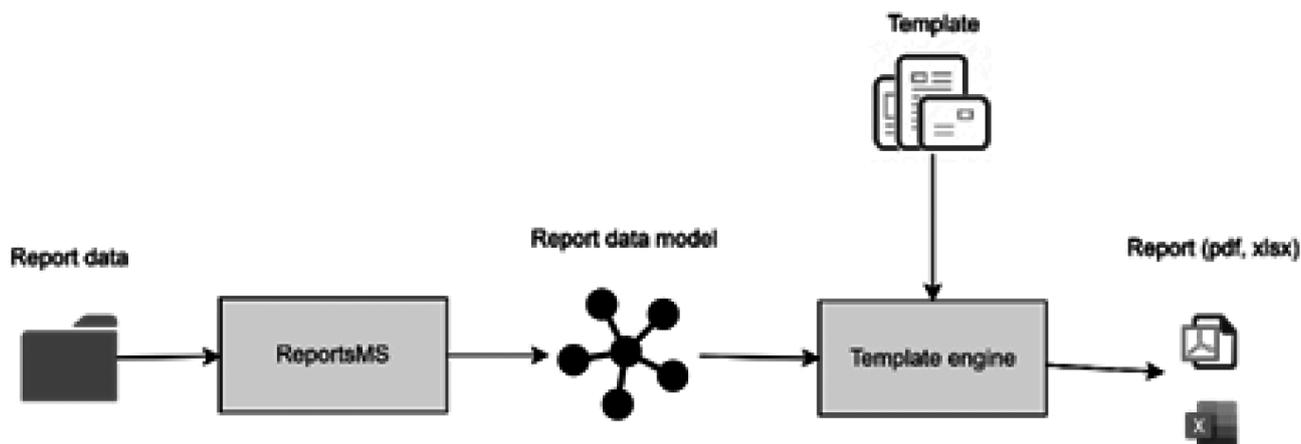


Рис. 3. Схема работы модуля для генерации отчетов

### Описание процесса формирования отчета

Reporting Framework (фреймворк для создания отчетов) представляет собой набор инструментов и процессов, разработанных для автоматического создания, форматирования и распространения отчетов. Целью фреймворка является обеспечение эффективного и автоматизированного процесса создания отчетов, что позволяет сэкономить время и снизить количество ошибок, связанных с ручным составлением отчетов.

Фреймворк предлагает механизм создания отчетов на основе заранее определенных шаблонов. Отчеты могут быть сгенерированы в различных форматах, таких как PDF или Excel, и могут быть автоматически сохранены в удобном для использования виде. На рисунке 3 приведена схема работы модуля для генерации отчетов.

### Обсуждение

Внедрение модуля для обработки данных и моделирования в рамках энергетического актива привело к значительным практическим результатам и улучшениям в управлении активом. Ниже приведены основные практические результаты, достигнутые в результате внедрения модуля:

**Улучшение качества данных:** Модуль обработки данных позволил значительно повысить качество данных, используемых для моделирования. Процессы очистки, стандартизации и исправления ошибок данных помогли устранить несоответствия и повысить достоверность информации, что привело к более точным и надежным результатам моделирования.

**Оптимизация стратегий управления:** в результате внедрения микросервиса для моделирования удалось существенно сократить затраты на моделирование типовых активов. Теперь мы можем проводить имитационное моделирование различных комбинаций

энергетических технологий, оценивать эффективность и целесообразность внедрения конкретных технологий и устройств, а также определять оптимальные стратегии управления энергетическим активом в автоматическом режиме, по запросу.

**Сокращение затрат и рисков:** модуль моделирования позволил проводить предварительные детальные испытания, основанные на моделировании работы объекта. Это позволило снизить затраты и риски, связанные с физическими испытаниями и экспериментами на реальных объектах.

**Автоматизация и ускорение процессов:** модуль обработки данных и моделирования позволил автоматизировать множество рутинных и повторяющихся задач. Процессы обработки данных, подготовки моделей и генерации отчетов стали выполняться автоматически, что сократило количество усилий, затрачиваемых на эти задачи, и ускорило время формирования отчетов и результатов моделирования.

В целом, внедрение модуля для обработки данных и моделирования привело к улучшению качества данных, оптимизации стратегий управления, сокращению затрат и рисков, автоматизации и ускорению процессов, а также улучшению принятия решений в рамках развития энергетического актива.

### Заключение

Внедрение модуля обработки данных и моделирования в энергетической отрасли привело к улучшению качества данных, автоматизации процессов и снижению временных и финансовых затрат. Также его использование обеспечило более точные и достоверные результаты моделирования, значительно улучшив управление активами. Создание микросервиса моделирования позволило автоматизировать процесс создания типовых симуляций, что привело к улучшению производительности

системы в целом, а также позволило создать инструменты для моделирования и управления энергетическими технологиями в различных средах и на энергетических рынках.

В ходе апробации разработанного решения при сотрудничестве с компанией BLIQ была создана серия отчетов для различных объектов. Эти отчеты могут помочь оценить пользу от использования дополнительных ба-

тарей для хранения электроэнергии, а также показать стратегию запаса и продажи произведенной электроэнергии для получения прибыли.

Таким образом, успешное внедрение модуля обработки данных открывает новые перспективы для эффективного использования ресурсов, оптимизации стратегий и создания устойчивой энергетической системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурман, А.П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем: учебное пособие / А.П. Бурман, Ю.К. Розанов, Ю.Г. Шакарян. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. — 336 с.
2. Илюшин, П.В. Внедрение распределенной генерации. Анализ существующего опыта, возникающие проблемы, комплексное решение технических вопросов интеграции в распределительные сети // Сборник докладов XXI заседания Ассоциации электроснабжения городов России «ПРОГРЕССЭЛЕКТРО». 25–26 марта, 2015, Москва, Россия. — С.114–122.
3. Илюшин, П.В. Подходы к оценке возможности обеспечения надежного электроснабжения потребителей за счет строительства объектов распределенной генерации / П.В. Илюшин, Ю.Н. Кучеров // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. -2014. — №5. — С. 2–7.
4. Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А.А. Макарова, Т.А. Митровой, В.А. Кулагина. — ИНЭИ РАН, Московская школа управления СКОЛКОВО. — Москва, 2019. — 209 с.
5. Загорнов, М.А. Новые технологии распределенной энергетики. Практический опыт развития собственной генерации в регионах России: примеры проектов // Материалы международной конференции «От проекта до объекта: специфика строительства объектов распределенной генерации в регионах России», 25 октября 2018, Москва, Россия. — С. 1–20.
6. Duan, J. Data integrity attack on consensus-based load shedding algorithm for power systems / J. Duan, M.Y. Chow // Proc. of the 43rd Ann. Conf. of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), 2017, China.
7. European Union. 2030 Climate and Energy Policy Framework. Brussels, Belgium. 2014. Available online: [climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework\\_en](http://climate.ec.europa.eu/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en).
8. Molderink, A. Management and control of domestic smart grid technology / A. Molderink, V. Bakker, M.G. Bosman, G.L. Hurink, G.J. Smit // IEEE Trans. Smart Grid. — 2010. — Vol. 1. — pp. 109–119.
9. Ustun, T. Modeling of a centralized microgrid protection system and distributed energy resources according to IEC 61850-7-420 / T. Ustun, C. Ozansoy, A. Zayegh // IEEE Trans. Power Syst. — 2016. — Vol. 27, — № 3. — pp. 1560–1567.

© Тюков Антон Павлович (Anton.tyukov@gmail.com); Вишневецкий Андрей Романович (avishand@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ОБЪЕКТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ

## SOFTWARE FOR VISUALIZATION OF INFORMATION ON THE STATE OF ROAD NETWORK OBJECTS

**A. Tsesar  
O. Ivashchuk**

*Summary.* A brief review of geoinformation systems, the most common in Russia, is made. The possibilities of software for visualizing information about the state of road network objects, created by domestic developers, are described in more detail. The basic principles underlying the development of specialized software for visualizing information about the state of road network objects are given and a brief description of the main subsystems is given. The visualization subsystem and the calculation system are considered in more detail. The joint use of subsystems for storage, information visualization, calculations and output of data on the state of road network objects ensures the implementation of all software functionality.

The dependences for calculating the index of the road surface condition on the basis of monitoring data collected by mobile complexes for the multi-criteria assessment of the operational state of the objects of the road network «ADS-MADI» are given. The necessity of taking into account environmental factors, the properties of pavement materials, the quality and timing of repairs, the sufficiency of funding in assessing the index of the condition of the pavement and predicting the residual life of the pavement is substantiated. The results of visualization of the results of monitoring the objects of the street and road network of the city of Moscow in 2019–2020 are presented. in the form of diagrams and on the «heat map». The resulting pavement condition index values can be used by decision makers to assess the condition of the pavement, predict the time required for maintenance and repair activities, and estimate future funding needs.

*Keywords:* software, road network, visualization, geoinformation system, indexes.

**Цесарь Алексей Александрович**

Московский автомобильно-дорожный  
государственный технический университет  
4drv@mail.ru

**Иващук Ольга Александровна**

Доктор технических наук, профессор,  
Белгородский государственный национальный  
исследовательский университет  
ivaschuk@bsu.edu.ru

*Аннотация.* Выполнен краткий обзор геоинформационных систем, наиболее распространенных в России. Более подробно описаны возможности программного обеспечения для визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети, созданного отечественными разработчиками. Приведены основные принципы, положенные в основу разработки специализированного программного обеспечения визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети и дано краткое описание основных подсистем. Более подробно рассмотрена подсистема визуализации и система расчетов. Совместное использование подсистем хранения, визуализации информации, расчетов и вывода данных о состоянии объектов улично-дорожной сети обеспечивает выполнение всего функционала программного обеспечения.

Приведены зависимости для вычисления индекса состояния дорожного покрытия на основании данных мониторинга, собранных передвижными комплексами многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ». Обоснована необходимость учета факторов окружающей среды, свойств материалов покрытия, качества и сроков проведения ремонтных работ, достаточность финансирования при оценке индекса состояния дорожного покрытия и прогнозировании остаточного срока службы покрытия. Приведены результаты визуализации результатов мониторинга объектов улично-дорожной сети города Москвы в 2019–2020 годах. в виде диаграмм и на «тепловой карте». Полученные значения индекса состояния дорожного покрытия могут использоваться лицами, принимающими решения, для оценки состояния дорожного покрытия, прогнозирования времени, необходимого для проведения мероприятий по эксплуатации и ремонту, и оценки будущих потребностей в финансировании.

*Ключевые слова:* программное обеспечение, улично-дорожная сеть, визуализация, геоинформационная система, индексы.

### Введение

**П**рограммное обеспечение для визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети (УДС) достаточно широко представлено как отечественными (GeoГраф, ГрафИн, Горизонт, Ин-Geo, ПАРК, АРГО, ПроGeo, GeoLink, GK 32, Zulu, WinPlan и др.), так и зарубежными разработчиками (MapInfo Professional, WinGIS, ArcGIS, ArcView GIS, Autodesk Map,

GeoMedia Professional, MicroStation, Manifold System Professional и др.). Это программное обеспечение относится к классу геоинформационных систем (ГИС) и обеспечивает сбор, хранение, анализ и визуализацию пространственных (географических) данных и связанной с ними различной информации об объектах. К специфическим функциям такого ПО относятся выполнение картометрических операций, наложения слоев и их пространственный анализ, построение

цифровых моделей рельефа, включая трехмерные изображения [1].

Наибольшее распространение в России имеют программные продукты ArcGIS и ArcView компании ESRI, семейство продуктов GeoMedia корпорации Intergraph и MapInfo Professional компании Pitney Bowes MapInfo. Используются также другие программные продукты отечественной и зарубежной разработки (Bentley's MicroStation, IndorGIS, ITSGIS, Zulu, 2GIS (ДубльГИС), DataGraf, NextGIS, и др.).

ПО Mapinfo позволяет создавать тематические карты, а также строить 3D-ландшафты. Mapinfo включает инструмент оцифровки материала и его обмена с другими организациями в разных форматах (bmp, tif, jpg и wmf). Российским аналогом этой программы является кроссплатформенная автоматизированная геоинформационная системы «Аксиома» (ООО «ЭСТИ») (<https://axioma-gis.ru/>). Еще одной отечественной разработкой является бесплатное облачное ПО NextGIS (компания NextGIS) (<https://nextgis.ru/nextgis-com/>), которое позволяет создавать веб-карты с произвольными настройками и стилями слоев, а также рассматривать и анализировать эти карты, встраивать и обновлять карты из QGIS.

Наиболее близким по целевому назначению является геоинформационная система автомобильных дорог IndorRoad (компания ИндорСофт) (<https://www.indorsoft.ru/products/road/>), которая предназначена для учёта и паспортизации, управления эксплуатацией и сопровождения всего жизненного цикла автомобильных дорог. В ней предусмотрено хранение данных, собранных в ходе диагностики и их отображение на карте в виде картограмм. ПО обеспечивает также формирование плана дорожно-ремонтных работ на основе данных диагностики в соответствии с ОДМ 218.4.039–2018.

Профессиональная ГИС «Панорама» (фирма «Панорама КБ») (<https://gisinfo.ru/>) предназначена для создания и редактирования цифровых карт и планов городов, обработки данных, выполнения различных измерений и расчетов, оверлейных операций, построения 3D моделей, обработки растровых данных, подготовки графических документов в цифровом и печатном виде, а также для работы с базами данных.

В РФ ведется разработка единой интеллектуальной платформы «Управление автомобильными дорогами и транспортом» (компания RBS) (<https://rbs.partners/>), представляющей собой решение для автоматизации процессов управления объектами дорожно-транспортной инфраструктуры,

Краткий обзор наиболее интересных в рассматриваемой предметной области ГИС позволяет сделать вывод

о необходимости их дальнейшего развития в плане совершенствования методов обработки и анализа информации с целью интеллектуализации принятия управленческих решений [2].

## Модели и методы

### Принципы разработки и состав ПО

Проведение работ в этом направлении позволило авторам разработать программное обеспечение для сбора, обработки хранения, поиска и визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети и предоставления сведений, содержащихся в автоматизированном банке дорожных данных (АБДД). При его разработке авторы руководствовались следующими принципами:

- принцип комплексности — основные информационные ресурсы и автоматизированные процессы должны реализовываться на основе общей территориально-распределенной архитектуры, едином пространстве справочной информации, общего пользовательского интерфейса;
- принцип распределенности — архитектура программно-технического комплекса поддерживает взаимодействие распределенных площадок и обеспечивает механизм удаленного взаимодействия пользователей по сети Internet/Intranet;
- принцип минимизации — уменьшение количества бумажных документов за счет их замены электронными версиями;
- принцип надежности — должна определяться отсутствием отказов в работе, приводящих к остановке на период более 3 часов чаще 1 раза в неделю.
- принцип защищенности — должна обеспечиваться сохранность информации, в том числе персональных данных и служебных сведений, от несанкционированного доступа, копирования, изменения, удаления при условии использования соответствующей инфраструктуры при условии использования специализированных средств защиты информации.

ПО построено по модульному принципу и представляет собой функционально полный законченный продукт, обеспечивающий:

- сбор данных из различных источников;
- предварительную обработку собираемых данных (фильтрация, пересчет, ...);
- накопление собираемых данных в АБДД;
- архивирование данных за определенный период времени;
- формирование отчетов;
- отображение данных в реальном времени в интерфейсе (графики, таблицы, столбчатые/круговые диаграммы, «тепловая карта» объекта).

Доступ к ПО возможен как в пользовательском (работа с открытой информацией), так и в административном (реализация системных функций) режимах.

Ввод-вывод данных, прием управляющих команд и отображение результатов их исполнения выполняются в интерактивном режиме. Интерфейс соответствует современным эргономическим требованиям и обеспечивает удобный доступ к основным функциям и операциям.

В рамках проведения мероприятий по проектированию базы данных была разработана логическая и физическая структуры базы данных [3]. Логическая структура базы данных содержит следующую информацию: описание логического блока и рисунок с составными частями логического блока. Физическая структура базы данных была разработана на основе логической структуры и включает таблицы, их атрибутивный состав, формат данных и связи между таблицами. В базу данных были загружены сведения по всем объектам УДС — данные, полученные в ходе мониторинга в электронном виде в установленных форматах (продольная ровность, поперечная ровность, плотность ремонтных карт, плотность трещин). Подсистема визуализации предназначена для обеспечения графического представления пространственных данных, а также для визуализации сведений, полученных в результате работы комплексов многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ» [4].

Подсистема визуализации состоит из следующих основных частей:

- модуля выбора и мониторинга объекта;
- модуля редактирования объекта;
- модуля обработки изображений;
- модуля актуализации справочной информации;
- модуля формирования «тепловой карты».

Необходимыми дополнениями являются подсистема хранения данных и подсистема расчетов и вывода данных. Подсистема хранения данных реализована средствами стандартной СУБД реляционного типа (Postgres или MSSQL). БД содержит данные о результатах диагностики (данные об объектах измерений), преобразованные данные измерений, данные о параметрах съемки, данные о дорожных объектах (тип, класс, размеры, координаты), данные о вычисленных характеристиках участка УДС. Также в базе данных хранится ряд вспомогательных таблиц-списков необходимых для технического сопровождения работ по мониторингу автомобильных дорог, данные о визуальном осмотре и фотофиксации, данные о результатах исследования кернов, данные об используемых дорожно-строительных материалах.

В подсистеме расчетов и формирования выходных отчетов выполняется вычисление показателей, характери-

зующих эксплуатационное состояние объектов улично-дорожной сети (показатель PCI), формируется сводная таблица по объектам УДС с возможностью выбора рассчитанных значений по идентификатору объекта дорожного хозяйства. В состав подсистемы расчетов и вывода данных входит модуль подготовки и выгрузки отчетов. В отчетах указывается следующая информация: значение продольной ровности на участке дороги; среднее и максимальное значение поперечной ровности для каждой полосы; среднее и максимальное значение плотности трещин для каждой полосы; среднее и максимальное значение плотности карт и разрушений для каждой полосы.

Совместное использование подсистем хранения, визуализации информации, расчетов и вывода данных о состоянии объектов улично-дорожной сети (УДС) обеспечивает удобную и наглядную визуализацию информации о состоянии объектов улично-дорожной сети.

#### Модели расчета индекса состояния дорожного покрытия

Для оценки состояния дорожного покрытия используется ряд методов оценки состояния дорожного покрытия, двумя из которых являются Международный индекс ровности (IRI) и Индекс состояния дорожного покрытия (PCI) [5–7]. IRI обычно измеряется с помощью специализированного оборудования, которое вычисляет плавность и качество движения на участке проезжей части с использованием компьютерных алгоритмов, в то время как PCI основан на субъективной оценке количества повреждений дорожного покрытия

В РФ считается, что ровность дорожного покрытия является основным фактором, влияющим на безопасность дорожного движения. Имеются многочисленные доказательства того, что ухудшение качества дорожного полотна приводит к увеличению числа дорожно-транспортных происшествий, снижению пропускной способности дороги и к снижению индексов IRI и PCI [8–12]. Было обнаружено, что на дорожное покрытие влияет несколько факторов неровности, включая транспортную нагрузку, климатические факторы, тип дорожного покрытия, тип дренажа, свойства земляного полотна и качество строительства. В нашей стране для прогнозирования ровности дорожного покрытия широко используется модель. [13], позволяющая учесть прочностные характеристики покрытия, определяющие нарушение поперечной ровности. В большинстве моделей не оценивается комплексное влияние первичной ровности, интенсивности движения, модуля упругости дорожной одежды, ее однородности, условий эксплуатации и климатических условий [14, 15].

Взяв за основу подход, предложенный в [17] введем в рассмотрение следующие индексы, ориентированные

на нормативные значения, принятые в нашей стране, и приведенные к шкале в диапазоне от нуля до ста:

1. Индекс поперечной ровности (ITE — Index of Transverse Evenness):

$$ITE = 100 - \left( \frac{\text{Transverse evenness}}{20} \right) * 100, \quad (1)$$

так как предельно допустимое значение поперечной ровности равно 20 мм/м, то  $ITE = 0$  при достижении граничного значения и  $ITE = 100$ , когда поперечная ровность равна нулю.

2. Индекс продольной ровности (ILE — Index of Longitudinal Evenness):

$$ILE = \left( \frac{IRI - 4,22}{0,5 - 4,22} \right) * 100, \quad (2)$$

так как предельно допустимое значение продольной ровности равно 4,22 мм/м, то  $ILE = 0$  при достижении граничного значения и  $ILE = 100$ , когда международный индекс ровности равен 0,5.

3. Индекс плотности трещин (ICD — Index of Crack Density):

$$ICD = 100 - \left( \frac{\text{Crack Density}\%}{3\%} \right) * 100, \quad (3)$$

так как предельно допустимое значение плотности трещин равно 3 %, то  $ICD = 0$  при достижении граничного значения и  $ICD = 100$ , когда трещины отсутствуют.

4. Индекс плотности ремонтных карт (IRCD — Index of Repair Card Density):

$$IRCD = 100 - \left( \frac{\text{Плотность ремонтных карт}\%}{6,44\%} \right) * 100, \quad (4)$$

так как предельно допустимое значение плотности ремонтных карт равно 6,44 %, то  $IRCD = 0$  при достижении граничного значения и  $IRCD = 100$ , когда ремонтные карты отсутствуют.

Тогда индекс состояния дорожного покрытия  $PCI$  может быть рассчитан путем объединения четырех вычисленных коэффициентов с учетом весов  $0 \leq \beta_i \leq 1, i = 1, \dots, 4, \sum_{i=1}^4 \beta_i = 1$ , заданных экспертами, которые учитывают степень «важности» каждого индекса:

$$PCI = \beta_1 * ITE + \beta_2 * ILE + \beta_3 * ICD + \beta_4 * IRCD \quad (5)$$

$$PCI = 0,3 * ITE + 0,3 * ILE + 0,2 * ICD + 0,2 * IRCD \quad (6)$$

В случае отсутствия одного из показателей или целой группы (вследствие ошибки измерений или невозможности проведения работ) в расчет может быть включен один показатель. При этом его вес будет изменен пропорционально составу группы.

### Результаты

В ходе мониторинга объектов УДС с использованием комплексов многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ» собирается информация о продольной и поперечной ровности (Таблица 1), плотности трещин и плотности ремонтных карт (Таблица 2). В основе полу-

Таблица 1.

Фрагмент исходных данных по продольной и поперечной ровности

Наименование объекта	S пр. ч., кв.м	ПРОДОЛЬНАЯ РОВНОСТЬ					ПОПЕРЕЧНАЯ РОВНОСТЬ				
		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением	
					%	кв.м				%	кв.м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 Мая улица	3324,0	7,8	2,8	6,0	12,5	415,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10-й проезд Марьиной Рощи	2145,3	13,6	4,4	7,1	44,6	957,7	10,9	6,4	0,0	0,0	0,0
10-летия Октября ул.	6951,0	14,5	1,1	6,9	10,5	731,7	19,7	7,0	0,0	0,0	0,0
11-й проезд Марьиной Рощи	2985,0	14,0	4,5	8,2	56,8	1694,2	27,0	7,8	24,5	2,7	80,7
11-й проспект	7029,9	14,7	7,7	9,5	76,3	5360,3	16,2	4,5	0,0	0,0	0,0
11-я улица Текстильщиков	8608,3	13,6	0,3	7,8	9,6	829,2	55,2	11,1	31,4	18,8	1619,0
12-й проезд Марьиной Рощи	2364,4	15,3	8,2	9,0	87,9	2079,0	19,7	15,9	0,0	0,0	0,0
12-я Новокузьминская улица	5046,1	9,3	3,8	6,7	34,1	1720,3	39,7	8,0	26,0	5,7	286,7
13-й проезд Марьиной Рощи	4605,4	13,7	7,0	8,7	74,3	3422,9	23,2	12,7	22,4	2,7	124,5

Таблица 2.

Фрагмент исходных данных по плотности трещин и плотности ремонтных карт

Наименование объекта	S пр. ч., кв.м	ПЛОТНОСТЬ ТРЕЩИН					ПЛОТНОСТЬ РЕМОНТНЫХ КАРТ				
		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением		max мм/м	ср. значение, мм/м	ср. дефектное, мм/м	S пр. ч. с нарушением	
					%	кв.м				%	кв.м
1	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1 Мая улица	3324,0	6,5	1,6	4,6	15,0	498,6	45,3	2,4	14,8	13,8	457,1
10-й проезд Марьиной Рощи	2145,3	4,6	0,9	3,9	7,1	153,2	28,0	3,4	11,4	26,8	574,6
10-летия Октября ул.	6951,0	2,8	0,3	0,0	0,0	0,0	5,0	0,1	0,0	0,0	0,0
11-й проезд Марьиной Рощи	2985,0	4,0	0,6	3,9	2,7	80,7	31,4	2,3	14,7	14,9	443,7
11-й проспект	7029,9	3,5	0,8	3,5	1,3	87,9	32,4	0,9	21,1	3,8	263,6
11-я улица Текстильщиков	8608,3	2,7	0,1	0,0	0,0	0,0	5,3	0,1	5,2	0,9	79,0
12-й проезд Марьиной Рощи	2364,4	2,7	0,8	0,0	0,0	0,0	23,5	5,1	11,6	39,7	937,6
12-я Новокузьминская улица	5046,1	2,8	0,4	0,0	0,0	0,0	14,8	1,0	6,6	10,2	516,1
13-й проезд Марьиной Рощи	4605,4	4,9	0,8	4,1	2,7	124,5	45,5	3,3	15,0	20,3	933,5

Таблица 3.

Фрагмент результатов расчета индекса PCI

Наименование объекта	S пр. ч., кв.м	S пр. ч. с нарушением		ITE	ILE	ICD	IRCD	PCI
		%	кв.м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 Мая улица	3324,0	32,5	1080,3	100,0	39,4	47,0	53,0	61,8
10-й проезд Марьиной Рощи	2145,3	64,3	1379,1	67,9	0,0	70,2	32,6	61,3
10-летия Октября	6951,0	10,5	731,7	65,0	83,1	89,9	97,8	82,0
11-й проезд Марьиной Рощи	2985,0	59,5	1774,9	61,2	0,0	81,1	53,8	63,7
11-й проспект	7029,9	77,5	5448,2	77,5	0,0	73,7	82,0	77,6
11-я улица Текстильщиков	8608,3	28,0	2408,7	44,7	100,0	95,4	97,6	82,0
12-й проезд Марьиной Рощи	2364,4	91,4	2160,6	20,4	0,0	74,7	0,0	42,1
12-я Новокузьминск ул	5046,1	44,3	2236,3	60,0	12,2	85,3	79,5	54,6
13-й проезд Марьиной Рощи	4605,4	77,0	3547,4	36,3	0,0	72,4	34,9	43,2
14-й проезд Марьиной Рощи	4330,1	67,9	2938,3	0,0	86,3	40,3	51,8	70,2
17-й проезд Марьиной Рощи	3264,5	55,7	1818,8	11,1	95,7	58,8	0,0	55,6
1812 г. улица	14894,8	84,0	12509,3	0,0	30,6	80,7	85,3	51,6

ченных параметров эксплуатационного состояния были рассчитаны индексы PCI. Срез результатов приведен в Таблице 3. Для визуализации геометрических объектов на одном из слоев ГИС была представлена цветовая градация в зависимости от полученного индекса PCI. Стиль, используемый для присвоения цвета приведен в Таблице 4.

Круговые диаграммы (Рис. 1) дают наглядное представление по цветовой индикации процентного соотношения

состояний дорожного покрытия в зависимости от индекса PCI.

Группировка состояний «Аварийное», «Предварийное», «Очень плохое» и «Плохое» в 2019 году составляла 48 %, а в 2020 году уже 56 %. Тогда как группировка состояний «Удовлетворительное», «Хорошее» и «Отличное» 2019 году составляла 52 % (Рис. 1.а), а в 2020 году уже только 44 % (Рис. 1.б). То есть износ дорожного полотна в г. Москве идет интенсивнее, чем его восстановление.



а) 2019 год



б) 2020 год

Рис. 1. Диаграммы индекса PCI

Таблица 4.

Стиль слоя ГИС.

Зависимость состояния дорожного покрытия от PCI

PCI	Состояние	Цвет	Пример
0–10	Аварийное	Темно серый	
10–25	Предаварийное	Темно красный	
25–40	Очень плохое	Красный	
40–55	Плохое	Светло красный	
55–70	Удовлетворительное	Желтый	
70–85	Хорошее	Светло зеленый	
85–100	Отличное	Темно зеленый	



Рис. 2. «Тепловая карта» г. Москвы за 2019 год



Рис. 3. «Тепловая карта» г. Москвы за 2020 год

Такой же результат визуально заметен и на «тепловой карте». Количество участков, с состоянием «Аварийное», «Предаварийное», «Очень плохое» и «Плохое» в 2019 году (Рис. 2) меньше, чем в 2020 году (Рис. 3)

### Заключение

Выполненный обзор наиболее интересных в рассматриваемой предметной области ГИС позволил сделать вывод о необходимости их дальнейшего развития в плане совершенствования методов обработки и анализа информации с целью интеллектуализации процесса принятия управленческих решений.

Описано разработанное авторами программное обеспечение для сбора, обработки хранения, поиска и визуализации информации о состоянии объектов улично-дорожной сети и предоставления сведений, содержащихся в автоматизированном банке дорожных данных (АБДД).

Предложены модели для вычисления индексов продольной и поперечной ровности, а также индексов плотности трещин и ремонтных карт, ориентированные на нормативные значения, принятые в нашей стране, и приведенные к шкале в диапазоне от нуля до ста. Приведена модель для расчёта индекса состояния дорожного покрытия PCI объединяющая все четыре индекса с учетом весов, заданных экспертами, которые учитывают степень «важности» каждого индекса:

Выполнены расчеты индексов PCI по данным диагностики улично-дорожной сети г. Москвы за 2019 и 2020 годы, собранной с использованием комплексов многокритериальной оценки эксплуатационного состояния объектов улично-дорожной сети «АДС-МАДИ». Результаты показывают, что износ дорожного полотна в г. Москве идет интенсивнее, чем его восстановление. Такой же результат визуально заметен и на «тепловой карте», где количество участков, соответствующих состояниям «Аварийное», «Предаварийное», «Очень плохое» и «Плохое» в 2019 году меньше, чем в 2020 году.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Tkacheva O.A. et al. Computer technologies in cadastral practice: monograph / O.A. Tkacheva, E.G. Meshchaninova, A.A. Vechernaya, A.A. Ivanova, E.Yu. Voitenko. — Novocherkassk: Publishing house «NOK», 2011.
2. Fineeva, M.A., Vasiliev, Yu.E., Belyakov, A.B., Varshavskiy, C.B., Tsesar, A.A., 2020. Decision support system for street-road network objects repair. 2020. IOP Publishing Ltd. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1159, International Conference on Digital Solutions for Automotive Industry, Roadway Maintenance and Traffic Control (DS ART 2020), Moscow, Russia, 1–13.
3. Fineeva, M.A., Vasiliev, Yu.E., Caesar, A.A.; Varshavsky, S.V. Design and actualization of the road database: 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications (SOSG 2022), 5–17 March 2022. IEEE. INSPEC Accession Number: 21699335. DOI: 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744376.
4. Vasiliev Y.E., Saakyan I.E., Fineeva MA, Varshavsky SV., Tsesar AA. Technology for collecting road data using satellite navigation system and the. International Scientific Conference «Digital Age: Traditions, Modernity, Innovations» (DATMI-2020).
5. Yang, X., Z. You, J. Hiller, et al., 2017. Sensitivity of flexible pavement design to Michigan's climate inputs using pavement ME design. /International Journal of Pavement Engineering, 18(7) 622–632.
6. Zhao, Y., Goulias, D., Peterson, D., 2021. Recycled Asphalt Pavement Materials in Transport Pavement Infrastructure: Sustainability Analysis & Metrics. Sustainability, 13(14), 8071.
7. Zavyalov, M.A., Kirillov, A.M., 2017. Evaluation methods of asphalt pavement service life. /Magazine of Civil Engineering, 2, 42–56.
8. Haider, S.W., Baladi, G.Y., Chatti, K., Dean, C.M., 2018. Effect of frequency of pavement condition data collection on performance prediction. Transportation Research Record, 2153(1), 67–80.
9. Jafari, H., Yahia, A., Amor, M. B., 2016. Life cycle assessment of pavements: reviewing research challenges and opportunities. Journal of Cleaner Production, 112, 2187–2197.
10. Meng Guo, Haiqing Liu, Yubo Jiao, et al., 2020. Effect of WMA-RAP Technology on Pavement Performance of Asphalt Mixture: A State-of-the-Art Review. Journal of Cleaner Production, 266 (1), 121704.
11. Park, K.; Thomas, N.; Lee, K.W. Applicability of the International Roughness Index as a Predictor of Asphalt Pavement Condition 1. J. Transp. Eng. 2007, 133, 706–709.
12. Shrestha, S., Katicha, S., Flintsch, G., 2019. Pavement Condition Data from Traffic Speed Deflectometer for Network Level Pavement Management. Airfield and Highway Pavements: Design, Construction, Condition Evaluation, and Management of Pavements. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 392–403.
13. Vasiliev, A.P. Repair and maintenance of highways // Reference encyclopedia of a road worker: in 2 vols. — Vol. 2. — M.: Informavtodor, 2004. — 1129 p.
14. Jin, C., Zhang, J.X., 2017. Summary of research on performance prediction of asphalt. Journal of China & Foreign Highway, 37(5), 31–35.
15. Mazari, M., Rodriguez, D.D., 2016. Prediction of pavement roughness using a hybrid gene expression programming neural network technique. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 3(5), 448–455.
16. Abed, A, Thom, N., Neves, L., 2019. Probabilistic prediction of asphalt pavement performance. Road Materials and Pavement Design, 20, 247–264.
17. Alhabri F. Predicting pavement performance utilizing artificial neural network (ANN) models. 2018. Graduate Theses and Dissertations. 16703 <https://lib.dr.iastate.edu/etd/16703>.

© Цесарь Алексей Александрович (4drv@mail.ru); Иващук Ольга Александровна (ivaschuk@bsu.edu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СИНТЕЗ БЕЗОПАСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ВЕБ-СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ АВТОМАТНЫХ УРАВНЕНИЙ

## DERIVING SAFE COMPONENTS OF WEB SERVICES BASED ON THE SOLUTION OF FSM EQUATIONS

**E. Shirokova  
N. Evtushenko**

*Summary.* A web service is a software system that provides interaction between a service provider and its users. When developing web services, it is important to consider its security, one aspect of which is the absence of livelocks and deadlocks between its components. In this paper we consider the problem of synthesizing a safety web service server application that must interact with various client applications without livelocks.

It is assumed that the behavior of the web service and its known components is described by complete finite state machines (FSMs); the interaction of the web service components is described using the parallel composition operation. Thus, the problem of synthesizing a server application is reduced to solving the corresponding system of parallel FSM equations (inequalities), for which complete progressive solutions are of interest, since the use of such solutions for the synthesis of a server application guarantees the absence of livelocks and deadlocks in the work of a web service.

As is known, the largest (general) solution of a solvable system of equations is the intersection of the largest solutions of all equations of a system. The complexity of deriving the largest progressive solution is higher than the complexity of deriving the «usual» largest solution. In this regard, the problem of the possibility of reducing the solution of a system of FSM equations to the solution of a single equation is of interest. It is shown that, similarly to the case of finding the largest solution of the system, such a reduction is possible for two special cases when it is necessary to synthesize a safety server application that can: 1) work with different client applications and provide the same level of service, and in this case, the corresponding system of FSM equations is considered; 2) or work with one client application and provide different levels of service, and in this case, the corresponding system of FSM inequalities is considered.

*Keywords:* web service, web service safety, finite state machine, parallel composition of finite state machines, finite state machine equation, system of finite state machine equations, progressive solution.

**Широкова Екатерина Владимировна**  
Национальный исследовательский  
Томский государственный университет  
k@shir.su

**Евтушенко Нина Владимировна**  
доктор технических наук, профессор, Институт  
системного программирования им. В.П. Иванникова  
РАН, Национальный исследовательский университет  
Высшая школа экономики, г. Москва  
nyevtush@gmail.com

*Аннотация.* Веб-сервис представляет собой программную систему, обеспечивающую взаимодействие между поставщиком услуги и ее пользователями. При разработке веб-сервисов важно учитывать его безопасность, одним аспектом которой является отсутствие зацикливаний (livelock) и тупиковых ситуаций (deadlock) между его компонентами. В данной работе рассматривается задача синтеза безопасного серверного приложения веб-сервиса, который должен взаимодействовать с различными клиентскими приложениями без зацикливаний и тупиковых ситуаций.

Предполагается, что поведение веб-сервиса и его известных компонентов описано полностью определенными конечными автоматами; взаимодействие компонентов веб-сервиса описано с помощью операции параллельной композиции. Таким образом, задача синтеза серверного приложения сводится к решению соответствующей системы параллельных автоматных уравнений (неравенств), для которой интерес представляют полностью определенные живые решения, так как использование таких решений для синтеза серверного приложения гарантирует отсутствие зацикливаний и тупиковых ситуаций в работе веб-сервиса.

Как известно, наибольшее (общее) решение разрешимой системы уравнений является пересечением наибольших решений всех уравнений системы. Сложность построения наибольшего живого решения более высокая, чем сложность построения «обычного» наибольшего решения. В связи с этим интересной является задача о возможности сведения решения системы автоматных уравнений к решению одного уравнения. Показано, что, подобно случаю нахождения наибольшего решения системы, такое сведение возможно для двух частных случаев, когда необходимо синтезировать безопасное серверное приложение, которое может: 1) работать с разными клиентскими приложениями и предоставлять одинаковый уровень сервиса, и в этом случае рассматривается соответствующая система автоматных уравнений; 2) или работать с одним клиентским приложением и предоставлять разные уровни сервиса, и в этом случае рассматривается соответствующая система автоматных неравенств.

*Ключевые слова:* веб-сервис, безопасность веб-сервисов, конечный автомат, параллельная композиция автоматов, автоматное уравнение, система автоматных уравнений, живое решение.

### Введение

**Н**а сегодняшний день все чаще различные услуги предоставляются пользователям посредством сети Интернет, и это способствует появлению

большого числа веб-сервисов. Веб-сервис [1] представляет собой программную систему, обеспечивающую взаимодействие между поставщиком услуги и ее пользователями. Для веб-сервисов характерна так называемая клиент-серверная архитектура. Пользователь

услуги посредством клиентского приложения отправляет на сервер запрос, удовлетворяющий правилам протокола передачи данных. После обработки запроса или ряда запросов сервер отправляет клиенту ответ, который является запрашиваемой информацией либо сообщением об ошибке. При разработке веб-сервиса важно учитывать его безопасность. В данной работе мы полагаем, что веб-сервис является *безопасным* [2], если на его компоненты могут поступать только определенные в их спецификациях входные данные. Кроме того, при взаимодействии компонентов веб-сервиса не должно возникать зацикливаний и тупиковых ситуаций. Если взаимодействие компонентов некоторого веб-сервиса не безопасно, то представляет интерес задача синтеза соответствующего безопасного приложения.

Задача синтеза компонентов многомодульных систем рассматривалась в различных работах. Она известна как задача решения уравнения [3], построение подмодуля [4], задача синтеза неизвестного компонента [5]. В работах [5, 6] рассматривается проблема построения мультиагентной системы, для создания которой необходимо синтезировать так называемого агента, который способен работать в различных контекстах и при работе в каждом контексте предоставлять свой уровень сервиса. Для решения данной задачи авторы предлагают описывать поведение компонентов мультиагентной системы посредством конечного автомата, а взаимодействие компонентов — с помощью операции параллельной композиции автоматов-компонентов. Операция параллельной композиции позволяет описывать взаимодействие компонентов многомодульной системы в режиме диалога, причем в каждый момент времени активным является только один компонент, а внешняя выходная реакция производится только после завершения внутреннего диалога между компонентами. Таким образом, задача синтеза агента при работе в различных контекстах сводится к задаче решения системы параллельных автоматных уравнений. Авторы [5] предлагают решать каждое уравнение отдельно, а затем строить пересечение полученных наибольших (общих) решений. В работе [7] мы показываем, что в некоторых частных случаях систему автоматных параллельных уравнений можно свести к решению одного уравнения, что может снизить сложность нахождения решения по сравнению с решением системы уравнений.

В настоящей работе рассматривается задача синтеза безопасного серверного приложения веб-сервиса, который должен взаимодействовать с различными клиентскими приложениями без зацикливаний и тупиковых ситуаций. Предполагается, что поведение веб-сервиса и его известных компонентов описано полностью определенными конечными автоматами. Взаимодействие компонентов веб-сервиса описано с помощью операции параллельной композиции. Таким образом, задача

синтеза серверного приложения сводится к решению соответствующей системы параллельных автоматных уравнений (неравенств).

Для решения данной задачи результаты, полученные в работе [7], расширяются на случай поиска полностью определенных живых решений систем параллельных автоматных уравнений. Живые (compositionally progressive) решения автоматных уравнений [6, 8] представляют особый интерес, поскольку композиция известного компонента автоматной композиции с живым детерминированным решением уравнения является полностью определенным автоматом, то есть композиция не содержит зацикливаний. Таким образом, использование полностью определенных подавтоматов живых решений для синтеза серверного приложения веб-сервиса, который должен взаимодействовать с различными клиентскими приложениями, гарантирует отсутствие зацикливаний и тупиковых ситуаций в работе веб-сервиса.

## Основные определения и обозначения

### 1) Конечный автомат

Конечные автоматы широко используются для описания поведения реактивных систем, которые получают некоторые запросы (входные символы) и производят соответствующие выходные реакции (выходные символы) [9]. Состояния конечного автомата соответствуют памяти о ранее примененных входных действиях и произведенных выходных реакциях. *Конечный автомат* (или просто автомат) [3, 9]  $A$  представляет собой пятерку  $(A, I, O, T_A, a_0)$ , где  $A$  — непустое конечное множество состояний с выделенным начальным состоянием  $a_0$ ;  $I$  и  $O$  — непустые конечные множества входных и выходных символов (входной и выходной алфавиты), соответственно;  $T_A \subseteq A \times I \times O \times A$  — отношение переходов. На основе свойств отношения переходов определяются *подавтоматы* автомата, *полностью определенные* и *частичные* автоматы, *детерминированные* и *недетерминированные (наблюдаемые)* автоматы [3, 5, 9]. Конечный автомат является трассовой моделью, представляя конечным способом отображение бесконечного множества входных последовательностей в множество выходных последовательностей. Для входной последовательности  $\alpha$  и выходной последовательности  $\beta$  четверка  $(\alpha, a, a', \beta) \in T_A$ , если найдется последовательность состояний  $a_1, \dots, a_{n+1}$  такая, что  $a_1 = a$ ,  $a_{n+1} = a'$  и  $(i_j, a_j, a_{j+1}, o_j) \in T_A$  для всех  $j = 1, \dots, n$ . Пара  $\alpha/\beta$  называется *входо-выходной* последовательностью автомата  $A$  в состоянии  $a$ . Множество всех входо-выходных последовательностей автомата  $A$  в начальном состоянии  $a_0$  называется *языком*  $L_A$  автомата  $A$ . Автомат  $B$  называется *редукцией* автомата  $A$  ( $A \leq B$ ), если  $L_B \subseteq L_A$ . Если  $L_B = L_A$ , то автоматы  $A$  и  $B$  называются *эквивалентными* ( $A \approx B$ ). В детерминированном

полностью определенном автомате для каждой входной последовательности существует единственная допустимая выходная последовательность.

Если каждое состояние автомата достижимо из начального состояния по некоторой входе-выходной последовательности, то автомат называется *связным*. Пересечение  $A \cap B$  [10] автоматов  $A$  и  $B$  с одинаковыми входными и выходными алфавитами представляет собой наибольший связный подавтомат автомата  $(A \times B, I, O, T_{A \cap B}, a_0 b_0)$ , где  $(ab, i, o, a'b') \in T_{A \cap B} \Leftrightarrow (a, i, o, a') \in T_A \& (b, i, o, b') \in T_B$ . Пересечение полностью определенных автоматов может оказаться частичным. Объединение  $A \cup B$  [10] автоматов  $A$  и  $B$ , у которых множество состояний не пересекается, представляет собой автомат  $(A \cup B \cup \{a_0 b_0\}, I, O, T_{A \cup B}, a_0 b_0)$ , где  $\forall t, t' \in A \cup B$  выполняется:  $(a_0 b_0, i, o, t') \in T_{A \cup B} \Leftrightarrow (a_0, i, o, t') \in T_A$  или  $(b_0, i, o, t') \in T_B$ ;  $(t, i, o, t') \in T_{A \cup B} \Leftrightarrow (t, i, o, t') \in T_A \cup T_B$ .

### 2) Операции над конечно-автоматными языками

Достаточно часто конечно-автоматный язык представляется посредством полуавтомата на основе «растягивания» переходов автомата [3, 5]. В полуавтомат добавляются промежуточные состояния, помечающие пару «состояние, входной символ», в которое есть переход из текущего состояния под действием этого входного символа; все состояния исходного автомата и только они объявляются *финальными*. Из промежуточного состояния есть переход в финальное состояние полуавтомата под действием выходного символа, такого, что соответствующая четверка принадлежит отношению переходов исходного автомата. Дополнение конечно-автоматного языка  $Comp(L_A)$  строится на основе соответствующего полуавтомата, и вообще говоря, не является конечно-автоматным языком, ввиду нарушения свойства префикс-замкнутости.

Пусть  $V$  и  $W$  — некоторые алфавиты и последовательность  $\alpha \in V^*$ .  $U$ -ограничение последовательности  $\alpha$  (обозначение  $\alpha_{\downarrow U}$ ) строится посредством удаления из  $\alpha$  всех символов, принадлежащих множеству  $\bigcap U$ .  $U$ -расширение последовательности  $\alpha$  (обозначение  $\alpha_{\uparrow U}$ ) представляет собой множество всех последовательностей над алфавитом  $(V \cup U)$  с  $V$ -ограничением последовательности  $\alpha$ . Множество всех последовательностей  $L_{\downarrow U}$  есть  $U$ -ограничение языка  $L$  в алфавите  $V$ ; и соответственно множество всех последовательностей  $L_{\uparrow U}$  есть  $U$ -расширение языка  $L$ . Данные операции также выполняются над соответствующими полуавтоматами [5, 11].

### 3) Параллельная композиция конечных автоматов

Если поведение компонентов многомодульной системы описано конечными автоматами, то для описания их взаимодействия в диалоговом режиме может

быть использована операция параллельной композиции автоматов-компонентов [5]. В настоящей работе рассматривается бинарная параллельная композиция автоматов, где один из компонентов является встроенным (рисунок 1), не имеющим внешних алфавитов. Такая структура композиции часто применяется для описания взаимодействия компонентов веб-сервисов, представленных конечными автоматами, так как внешние входные символы могут поступать только на клиентское приложение, то есть сервер является встроенным компонентом [12].

Рассмотрим параллельную композицию  $S \approx C \diamond X$  полностью определенных автоматов  $C = (C, I \cup V, O \cup U, T_C, c_0)$  и  $X = (X, U, V, T_X, x_0)$ , представленную на рисунке 1. Алфавиты  $I, O, V, U$  попарно не пересекаются; при этом алфавиты  $I$  и  $O$  являются, соответственно, *внешними* входным и выходным алфавитами композиции, а алфавиты  $V$  и  $U$  — *внутренними* алфавитами. Мы полагаем, что встроенный компонент  $X$  соответствует серверному приложению веб-сервиса, компонент  $C$  соответствует клиентскому приложению, с которым должно работать серверное приложение и обеспечивать определенный уровень сервиса  $S$ .

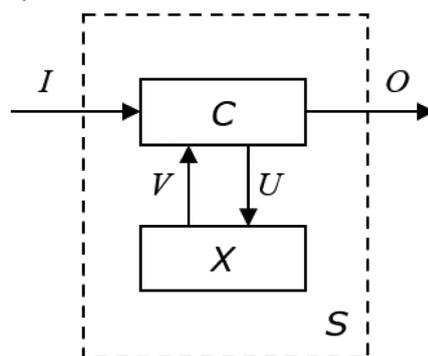


Рис. 1. Параллельная композиция автоматов, где компонент  $X$  является встроенным

Компоненты параллельной композиции взаимодействуют при так называемой «медленной» внешней среде. При подаче внешнего входного символа  $i \in I$  на компонент  $C$ , данный компонент вырабатывает:

- 1) либо внешний выходной символ  $o \in O$  и после этого композиция готова принять следующий внешний входной символ;
- 2) либо внутренний выходной символ  $u \in U$ , который поступает на вход компонента  $X$ , и компоненты взаимодействуют в режиме диалога до тех пор, пока не компонент  $C$  не произведет внешний выходной символ. После этого композиция готова принять следующий внешний входной символ.

В случае, когда при подаче некоторого внешнего входного действия между компонентами композиции

возникает бесконечный диалог, то говорят, что в композиции присутствуют заикливания (осцилляции). Предполагается, что такие входные действия не поступают на безопасную композицию.

Существуют различные способы построения автомата параллельной композиции [5, 13]. В настоящей работе используется подход на основе перехода к полуавтоматам, который для рассматриваемой структуры композиции содержит следующие шаги. Сначала для автоматов-компонентов композиции  $C$  и  $X$  строятся соответствующие полуавтоматы  $Aut(C)$  и  $Aut(X)$ . Далее полуавтомат  $Aut(X)$  расширяется на внешние алфавиты  $I$  и  $O$ . На следующем шаге необходимо построить пересечение полуавтоматов  $Aut(C)$  и  $Aut(X)_{\uparrow I, \downarrow O}$  и ограничить полученное пересечение на внешние алфавиты  $I$  и  $O$ . На последнем шаге полученный результат необходимо пересечь с полуавтоматом  $Aut(Max(I, O))$  с языком  $(IO)^*$ , который моделирует «медленную» внешнюю среду. Полученный полуавтомат преобразуется в соответствующий автомат  $S$  путем объединения входных символов с последующими выходными символами.

Автомат бинарной параллельной композиции полностью определенных автоматов может оказаться частичным, если в композиции присутствуют заикливания. В этом случае  $I$ -ограничение полуавтомата  $(Aut(C) \cap Aut(X)_{\uparrow I, \downarrow O})_{\downarrow I, \downarrow O} \cap Aut(Max(I, O))$  может не совпадать с  $I^*$ . В безопасной композиции заикливания отсутствуют, и  $I$ -ограничение такого полуавтомата совпадает с  $I^*$ .

4) Параллельные автоматные уравнения

Задача синтеза серверного приложения веб-сервиса, которое должно взаимодействовать с различными клиентскими приложениями, и при работе с каждым клиентом предоставлять некоторый уровень сервиса может быть сведена к задаче решения соответствующей системы параллельных автоматных уравнений (рисунок 2).

Пусть  $C = (C, I \cup V, O \cup U, T_c, c_0)$  и  $S = (S, I, O, T_s, s_0)$  — полностью определенные автоматы. Выражение « $C \diamond X \approx S$ » назы-

вается *параллельным автоматным уравнением* по отношению к неизвестному автомату  $X$  с входным и выходным алфавитами  $U$  и  $V$ , соответственно. Автомат  $C$  называется *контекстом*, автомат  $S$  — *спецификацией*. Автоматное уравнение может не иметь решений. Если уравнение разрешимо, то для него существует *наибольшее решение Largest*, которое содержит все возможные решения уравнения. Язык наибольшего решения *Largest* определяется следующим образом:  $Comp(Aut(C) \diamond Comp(Aut(S))) = Comp((Aut(C) \cap Comp(Aut(S))_{\uparrow U \cup V, \downarrow U \cup V})_{\downarrow U \cup V})$  [5]. Если композиция  $C \diamond Largest$  эквивалентна спецификации  $S$ , то уравнение  $C \diamond X \approx S$  разрешимо.

Неопределенные входные последовательности наибольшего решения уравнения  $C \diamond X \approx S$  соответствуют входным последовательностям, недопустимым в спецификации. Такие последовательности могут приводить к стрессовым ситуациям в работе веб-сервиса. В связи с этим наибольший интерес представляют полностью определенные решения автоматных уравнений. Если разрешимое автоматное уравнение имеет полностью определенное решение, то оно имеет наибольшее полностью определенное решение. Каждое полностью определенное решение является подавтоматом наибольшего полностью определенного решения, однако не каждый полностью определенный подавтомат наибольшего решения является решением уравнения [3]. Поэтому интерес представляют полностью определенные и *живые (compositionally progressive)* решения автоматных уравнений [6, 8, 14, 15], поскольку в этом случае композиция контекста  $C$  с таким решением является полностью определенным автоматом, то есть такая композиция не содержит заикливаний (осцилляций). Если уравнение имеет живое решение, то, как известно, уравнение имеет и наибольшее живое решение. Всякий полностью определенный подавтомат наибольшего живого решения является решением уравнения. Если живого решения уравнения не существует, то нужно либо «запретить» некоторые действия контекста, либо изменить спецификацию совместного поведения компонентов.

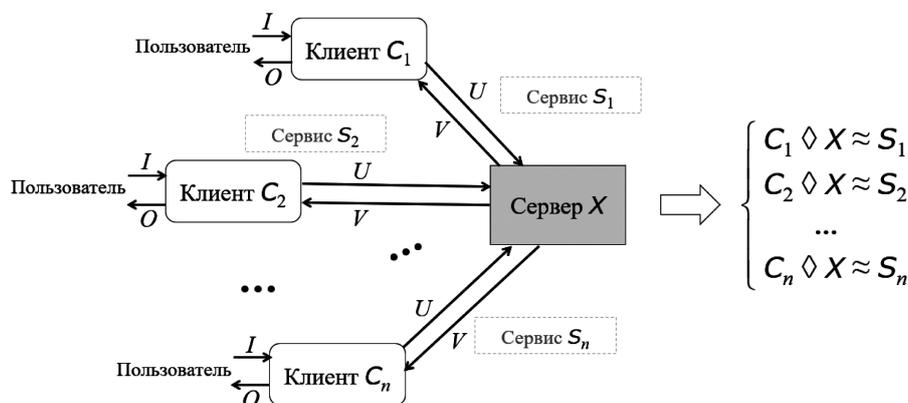


Рис. 2. Многокомпонентная сервисная система

## 5) Постановка задачи

Пусть задана система из  $n$  параллельных уравнений (рисунок 2). Требуется найти наибольшее живое полностью определенное решение системы уравнений, если система разрешима. В работе [5] предлагается способ проверки разрешимости системы и построения для разрешимой системы наибольшего решения на основе таких решений для уравнений системы. Пересечение наибольших решений и является наибольшим решением системы уравнений. В работе [7] показывается, что разрешимость такой системы уравнений может быть проверена на основе одного параллельного уравнения, но в работе отсутствуют доказательства этого факта. Кроме того, возможность построения наибольшего живого решения системы в работах не обсуждается. Процесс нахождения живого наибольшего решения системы уравнений более сложный, чем нахождение «обычного» наибольшего решения, так как полученное пересечение может оказаться решением для каждого уравнения, но не будет являться живым решением [16].

В настоящей работе, рассматриваются два частных случая, когда возможно сведение задачи поиска наибольшего полностью определенного живого решения системы параллельных автоматных уравнений / неравенств к поиску наибольшего полностью определенного живого решения одного уравнения / неравенства, что в некоторых случаях позволяет понизить сложность решения системы. Использование таких решений для синтеза серверного приложения гарантирует отсутствие зацикливаний и тупиковых ситуаций в работе веб-сервиса. Подробные доказательства приводятся для параллельной композиции из двух компонентов (рисунок 1), где неизвестным является встроенный компонент  $X$ , соответствующий серверному приложению, которое необходимо синтезировать. Для системы из  $n$  уравнений,  $n > 2$ , можно использовать математическую индукцию.

### Синтез безопасного серверного приложения веб-сервиса

1) В первом случае необходимо синтезировать безопасное серверное приложение, которое может взаимодействовать с двумя различными клиентами и при работе с каждым клиентом предоставлять одинаковый уровень сервиса. Для решения данной задачи можно использовать решение следующей системы уравнений.

Пусть  $C_i \diamond X \approx S$  ( $i = 1, 2$ ) — система параллельных автоматных уравнений, где  $S$  — детерминированный полностью определенный автомат.

**Теорема 1.** Пусть  $C_i \diamond X \approx S$  ( $i = 1, 2$ ) — система параллельных автоматных уравнений, где спецификации  $S$  есть детерминированный полностью определенный ав-

томат. Наибольшее полностью определенное живое решение системы уравнений эквивалентно наибольшему живому решению уравнения  $(C_1 \cup C_2) \diamond X \approx S$ .

#### Доказательство.

Пусть автомат *Largest* — наибольшее полностью определенное живое решение системы уравнений  $C_i \diamond X \approx S$  ( $i = 1, 2$ ). А значит, он является полностью определенным живым решением каждого уравнения  $C_i \diamond X \approx S$ . Поэтому для каждой последовательности  $\alpha$  языка автомата  $C_i$  и каждой последовательности  $\beta$  языка автомата *Largest*, композиция автоматов, соответствующих последовательностям  $\alpha$  и  $\beta$ , эквивалентна автомату  $S$ ,  $i = 1, 2$ .

В силу того, что язык автомата объединения  $C_1 \cup C_2$  содержит все последовательности языков автоматов  $C_1$  и  $C_2$ , то для каждой последовательности  $\alpha$  языка автомата объединения  $C_1 \cup C_2$  и каждой последовательности  $\beta$  автомата *Largest*, композиция соответствующих последовательностей  $\alpha$  и  $\beta$  содержится в языке автомата  $S$ .

Таким образом, автомат *Largest* является наибольшим полностью определенным живым решением параллельного автоматного уравнения  $(C_1 \cup C_2) \diamond X \approx S$ . □

Данный подход можно расширить на систему из конечного числа параллельных автоматных уравнений.

**Следствие 1.1.** Пусть  $C_i \diamond X \approx S$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) — система параллельных автоматных уравнений, где  $S$  — детерминированный полностью определенный автомат. Наибольшее полностью определенное живое решение системы уравнений эквивалентно наибольшему полностью определенному живому решению уравнения  $(C_1 \cup \dots \cup C_n) \diamond X \approx S$ .

Проиллюстрируем теорему 1 на следующем примере. Рассмотрим контексты  $C_1$  и  $C_2$ , представленные на рисунках 3(а) и 3(б), соответственно.  $C_1$  и  $C_2$  определены над множеством внешних входных символов  $I = \{i_1, i_2\}$ , множеством внешних выходных символов  $O = \{o_1, o_2\}$ , множеством внутренних входных символов  $V = \{v_1, v_2\}$  и множеством внутренних выходных символов  $U = \{u_1, u_2\}$ . Спецификация  $S$  (рисунок 3(в)) определена над множеством внешних входных символов  $I = \{i_1, i_2\}$  и множеством внешних выходных символов  $O = \{o_1, o_2\}$ .

Решение каждого автоматного уравнения и системы  $C_i \diamond X \approx S$  ( $i = 1, 2$ ) в целом определено над множеством внутренних входных символов  $U = \{u_1, u_2\}$  и множеством внутренних выходных символов  $V = \{v_1, v_2\}$ . Наибольшие полностью определенные живые решения *Largest*<sub>1</sub> и *Largest*<sub>2</sub> уравнений  $C_1 \diamond X \approx S$  и  $C_2 \diamond X \approx S$  приведены на рисунках 4(а) и 4(б), соответственно. Наибольшее полностью определенное живое решение *Largest* системы уравнений показано на рисунке 4(в).

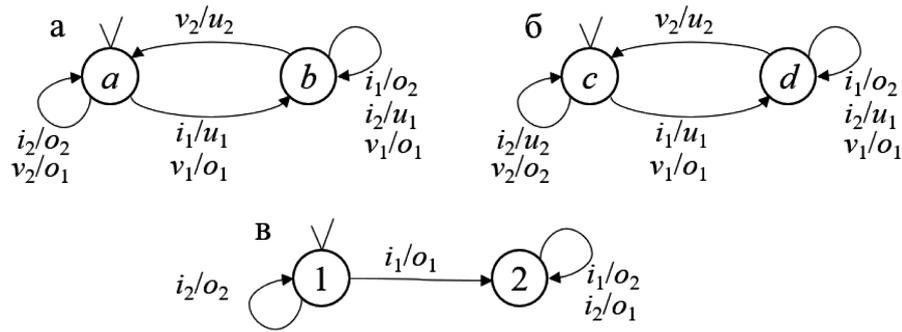


Рис. 3. (а) Контекст  $C_1$ ; (б) Контекст  $C_2$ ; (в) Спецификация  $S$

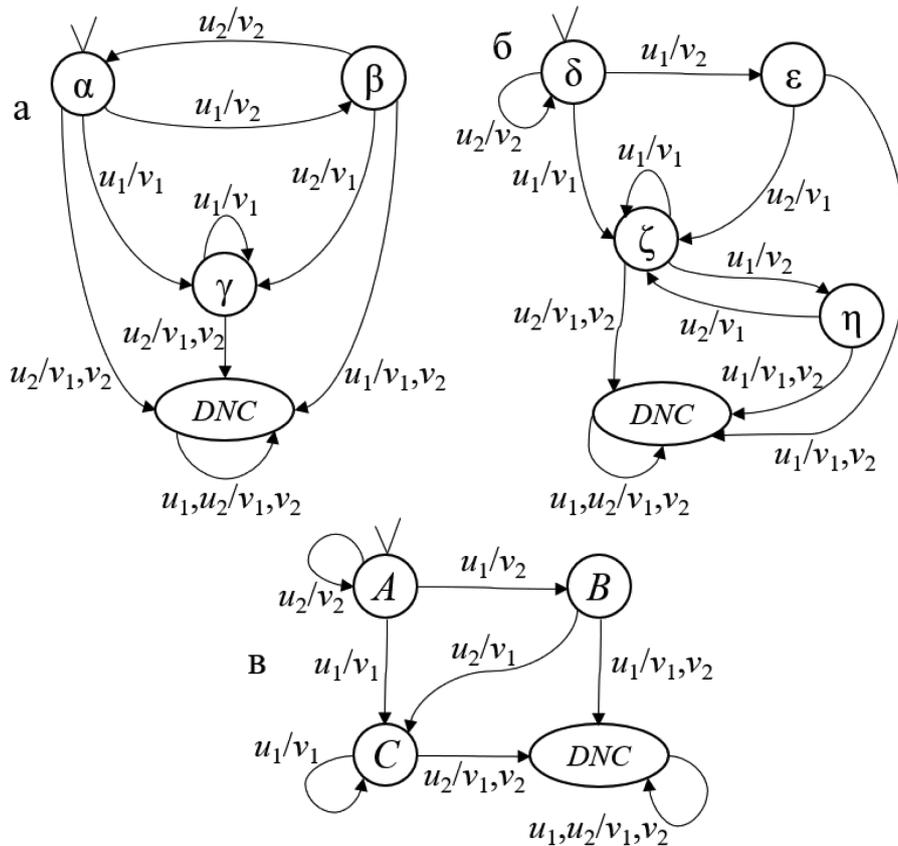


Рис. 4. (а) Наибольшее полностью определенное живое решение  $Largest_1$ ,  
 (б) Наибольшее полностью определенное живое решение  $Largest_2$ ,  
 (в) Наибольшее полностью определенное живое решение  $Largest$  системы уравнений

Рассмотрим теперь уравнение  $(C_1 \cup C_2) \diamond X \approx S$ . Объединение контекстов  $C_1$  и  $C_2$  показано на рисунке 5(а). Наибольшее полностью определенное живое решение  $Largest'$  уравнения  $(C_1 \cup C_2) \diamond X \approx S$  приведено на рисунке 5(б).

Таким образом, посредством пересечения полученных решений  $Largest$  и  $Largest'$ , можно убедиться, что решение  $Largest$  системы уравнений эквивалентно решению  $Largest'$  уравнения  $(C_1 \cup C_2) \diamond X \approx S$ .

2) Рассмотрим второй случай. Необходимо синтезировать безопасное серверное приложение веб-сервиса,

которое может предоставлять клиенту различные уровни сервиса. Для решения данной задачи можно использовать решение следующей системы неравенств.

Пусть  $C \diamond X \leq S_i (i = 1, 2)$  — система параллельных автоматных неравенств, где  $S_1$  и  $S_2$  — полностью определенные, возможно недетерминированные автоматы. Если  $S_1$  и  $S_2$  — детерминированные автоматы, то система неравенств неразрешима, поскольку параллельная композиция автомата  $C$  и живого полностью определенного решения определена однозначно. На практике недетерминизм спецификации соответствует опциональности предоставляемого пользователю сервиса.

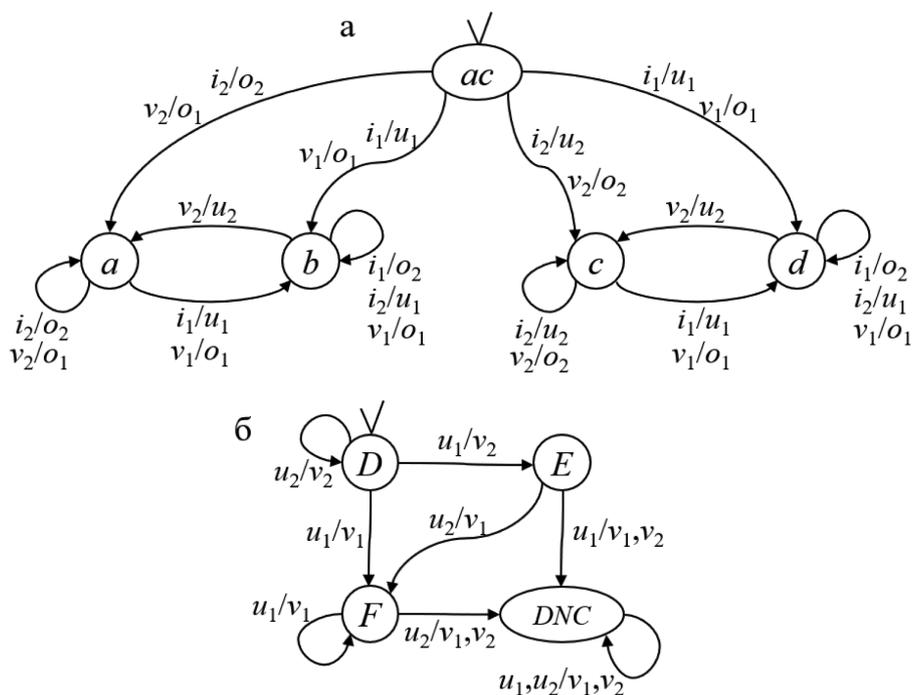


Рис. 5. (а) Автомат объединения контекстов  $C_1 \cup C_2$   
 (б) Наибольшее полностью определенное живое решение *Largest*

Для понижения сложности нахождения наибольшего полностью определенного живого решения такой системы предлагается следующий подход.

**Теорема 2.** Пусть  $C \diamond X \leq S_i (i = 1, 2)$  — система параллельных автоматных неравенств, где спецификации  $S_1$  и  $S_2$  определены над одинаковыми алфавитами. Наибольшее полностью определенное живое решение системы неравенств эквивалентно наибольшему живому решению неравенства  $C \diamond X \leq (S_1 \cap S_2)$ .

*Доказательство.*

Пусть автомат *Largest* — наибольшее полностью определенное живое решение системы неравенств  $C \diamond X \leq S_i (i = 1, 2)$ . А значит, он является полностью определенным живым решением каждого неравенства  $C \diamond X \leq S_i$ . Поэтому для каждой последовательности  $\alpha$  языка автомата  $C$  и каждой последовательности  $\beta$  языка автомата *Largest*, композиция автоматов, соответствующих последовательностям  $\alpha$  и  $\beta$ , является редукцией автомата  $S_i, i = 1, 2$ .

В силу того, что язык автомата пересечения  $S_1 \cap S_2$  содержит только общие последовательности языков автоматов  $S_1$  и  $S_2$ , то для каждой последовательности  $\alpha$  языка автомата  $C$  и каждой последовательности  $\beta$  языка автомата *Largest*, композиция автоматов, соответствующих последовательностям  $\alpha$  и  $\beta$ , является редукцией автомата пересечения  $S_1 \cap S_2$ .

Таким образом, автомат *Largest* является наибольшим полностью определенным живым решением параллельного автоматного неравенства  $C \diamond X \leq (S_1 \cap S_2)$ . □

Данный подход можно расширить на систему из конечного числа параллельных автоматных неравенств.

**Следствие 2.1.** Пусть  $C \diamond X \leq S_i (i = 1, 2, \dots, n)$  — система параллельных автоматных неравенств, где  $S_1, \dots, S_n$  определены над одинаковыми алфавитами. Наибольшее полностью определенное живое решение системы неравенств эквивалентно наибольшему полностью определенному живому решению неравенства  $C \diamond X \leq (S_1 \cap \dots \cap S_n)$ .

### Заключение

В настоящей работе исследуется задача синтеза безопасного серверного приложения веб-сервиса на основе поиска полностью определенного живого решения соответствующей системы параллельных автоматных уравнений / неравенств. Использование такого решения гарантирует отсутствие зацикливаний и тупиковых ситуаций в работе веб-сервиса.

Для двух частных случаев показано, что возможно сведение поиска наибольшего полностью определенного живого решения системы параллельных автоматных уравнений / неравенств к поиску наибольшего полностью определенного живого решения одного уравнения / неравенства, что в ряде случаев позволяет понизить

сложность решения системы. Рассмотрены ситуации, когда необходимо синтезировать безопасное серверное приложение, которое может работать с разными клиентскими приложениями и предоставлять одинаковый уровень сервиса, или необходимо синтезировать безопасное серверное приложение, которое может работать с одним клиентским приложением, предоставляя разные уровни сервиса.

В дальнейшем предполагается исследовать общий случай, когда контексты и спецификации разных урав-

нений не совпадают, а также рассмотреть структуру параллельной композиции, когда контекст и неизвестный компонент имеют внешние входные и выходные алфавиты. Также планируется провести эксперименты с реальными веб-сервисами. Отметим, что все операции в предложенном подходе выполняются на конечных автоматах и полуавтоматах. При числе состояний рассматриваемых автоматов не более 100, эти операции могут быть эффективно выполнены с использованием программного инструмента BALM II [17].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. World Wide Web Consortium // Web Services Activity URL: <http://www.w3.org/2002/ws/> (дата обращения: 10.06.2023).
2. Kondratyeva O. Timed FSM strategy for optimizing web service compositions w.r.t. the quality and safety issues: Doctoral thesis, Paris Saclay. — 2015.
3. Евтушенко Н.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Ч. 2. Решение автоматных уравнений: Учебное пособие / Н.В. Евтушенко, М.В. Рекун, С.В. Тихомирова // Томск: Томский государственный университет. — 2009. — 111 с.
4. Bochmann G.V. Using logic to solve the submodule construction problem // Discrete Event Dynamic Systems. — 2013. — P. 27–59.
5. Villa T. The Unknown Component Problem. Theory and Applications / T. Villa, N. Yevtushenko, R.K. Brayton, A. Mishchenko, A. Petrenko, A. Sangiovanni-Vincentelli // Berlin: Springer. — 2012. — 312 p.
6. K. El-Fakih, N. Yevtushenko Progressive solutions to FSM equations // URL: <http://www.higashi.ist.osaka-u.ac.jp/~kelfakih/EY08-CIAA08.pdf> (дата обращения: 03.06.2023).
7. Darusenkova E. Deriving a module of a multiagent system via Finite State Machine equation solving / E. Darusenkova, N. Yevtushenko, T. Villa // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON–2015). Proceedings. — Omsk: The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch. Russia, Omsk. — 2015. — DOI: 10.1109/SIBCON.2015.7147035.
8. Жарикова С.В. Метод нахождения прогрессивного решения системы автоматных уравнений // Доклады V Сибирской научной школы-семинара с международным участием «Компьютерная безопасность и криптография» — SYBECRUPT'06. — 2006. — С. 20–24.
9. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов / А. Гилл. — М: Издательство Наука. — 1966. — 272 с.
10. Евтушенко Н.В. Недетерминированные автоматы: анализ и синтез. Ч. 1. Отношения и операции: Учебное пособие / Н.В. Евтушенко, А.Ф. Петренко, М.В. Ветрова // Томск: Томский государственный университет. — 2006. — 142 с.
11. Aho A.V. The Theory of Parsing, Translation, and Compiling, Volume I: Parsing / A.V. Aho, J.D. Ullman // Prentice Hall. — 1972. — p. 1002.
12. Никитин А.Л. Тестирование робастности многомодульных систем на основе автоматной модели // Труды 7-й и 8-й конференций студенческого научно-исследовательского инкубатора. — Томск: Томское университетское издательство. — 2011. — С. 121-124.
13. El-Fakih K. FSM Based Interoperability Testing Methods / K. El-Fakih, V. Trenkaev, N. Spitsyna, N. Yevtushenko // Lecture notes in Computer Science 2978. — 2004. — P. 60–75.
14. Бушков В.Г. К описанию прогрессивных решений параллельного автоматного уравнения // Прикладная дискретная математика. — 2008. — № 1(1). — С. 120–125.
15. Buffalov S. Progressive solutions to a parallel automata equation / S. Buffalov, K. El-Fakih, N. Yevtushenko, G. Bochmann // Proceedings of the international conference FORTE2003, Germany. — 2003. — P. 367–382.
16. Тихомирова С.В. Оптимизация многокомпонентных дискретных систем на основе решения автоматных уравнений: Дис. канд. техн. наук. — Томск. — 2008. — 145 с.
17. Castagnetti G. Solving parallel equations with BALM-II / G. Castagnetti, M. Piccolo, T. Villa, N. Yevtushenko, A. Mishchenko, R. Brayton // Technical Report No UCB/EECS-2012-181, Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley. — 2012. — p. 32.

© Широкова Екатерина Владимировна (k@shir.su); Евтушенко Нина Владимировна (nyevtush@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЛИЯНИЕ БЛОЧНОГО ВИДА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫПОЛНЕНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

## INFLUENCE OF BLOCK PROCESSING ON THE RESULTS OF CONTINUOUS WAVELET TRANSFORM

**A. Shoberg**  
**P. Babich**  
**G. Shoberg**

*Summary.* The continuous wavelet transform can be represented in various forms depending on the direction of processing the input data. This article explores a block-based approach to performing the continuous wavelet transform. The proposed solutions differ from traditional ones in their direction invariance. Expressions for calculating the continuous wavelet transform in different block forms based on a matrix approach have been developed. Transformations are considered based on the number of blocks and the direction of processing. The results of modeling are presented graphically. A comparison of the results of performing various types of transforms based on the developed expressions is conducted.

*Keywords.* continuous wavelet transform, blocks, decomposition, processing direction, invariance.

**Шоберг Анатолий Германович**

*к.т.н, доцент, Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск)*  
shoberg@rambler.ru

**Бабич Полина Владимировна**

*Тихоокеанский государственный университет (Хабаровск)*

2018100601@pnu.edu.ru

**Шоберг Георгий Анатольевич**

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого*  
shoberg.g@gmail.com

*Аннотация.* Непрерывное вейвлет-преобразование может быть представлено в различных формах в зависимости от направления обработки входных данных. В статье рассматривается блочный подход к выполнению непрерывного вейвлет-преобразования. Предложенные решения отличаются от традиционных наличием инвариантности к направлению обработки. Разработаны выражения для расчета непрерывного вейвлет-преобразования в различных видах блочных форм на основе матричного подхода. Рассматриваются преобразования в зависимости от количества блоков и направления обработки. Представлены результаты моделирования в графической форме. Проведено сравнение результатов выполнения преобразований различных типов на основе разработанных выражений.

*Ключевые слова:* непрерывное вейвлет-преобразование, блоки, декомпозиция, направление обработки, инвариантность.

### Введение

Вейвлет-анализ является одним из наиболее мощных, гибких и востребованных средств исследования и цифровой обработки сигналов. Такое преобразование сигнала выполняется с целью разделения его на компоненты. Каждая составляющая определяет меру присутствия в сигнале соответствующей базисной функции. Анализ сигнала определяет состав компонент в заданном базисе на основе прямого преобразования [1].

Кроме задач фильтрации, сжатия и анализа в базисе вейвлет-функций [1,2], преобразование позволяет решать задачи идентификации, моделирования, аппроксимации стационарных и нестационарных процессов и т.д.

Вейвлет-преобразование вносит в обработку сигналов дополнительную степень свободы, т.к. оно обладает способностью выделять из сигнала компоненты разного масштаба.

Вейвлет-преобразования широко применяются в изучении медико-биологических и других аспектов жизнедеятельности человека, например, для более качествен-

ного определения видов физической активности [3, 4], для распознавания эмоций на основе психологических данных [5], обработке и мн. др. Оно находит применение в астрофизике [6], биоин-форматике [7], обработке изображений для повышения качества увеличенных снимков [8] и т.д.

Постоянно осуществляются попытки внести улучшения в реализации преобразования: использование реального масштаба времени при высоком качестве при вычислительном анализе [9]; применение различных вейвлетов при комбинациях преобразований [10–13], что позволяет улучшить ряд получаемых характеристик. При этом важным элементом является вычислительная сложность алгоритмов [14].

В данной работе рассматривается методика получения различных вариантов выполнения непрерывного вейвлет-преобразования при отсутствии увеличения вычислительной сложности.

### Деление набора данных на части

Основные свойства вейвлет-преобразования сигнала следующие. Это линейность, инвариантность относи-

тельного сдвига, коммутативность дифференцирования, инвариантность относительно растяжения (сжатия).

Здесь отсутствует инвариантность относительно направления обработки поступающих данных.

В пространственной области данные могут поступать в зависимости от размещения регистрирующего устройства.

Результат непрерывного (интегрального) вейвлет-преобразования  $S_{\psi}(a,b)$  представляет собой скалярное произведение сигнала  $s(t)$  и двухпараметрической вейвлет-функции  $\psi$  выбранного вида [1]. Интегральное вейвлет-преобразование представляет собой выражение, в котором присутствуют следующие коэффициенты:  $a$  — параметр временного масштаба, обратно пропорциональный частоте и отвечающий за ширину вейвлета;  $b$  — параметр сдвига, определяющий положение вейвлета на оси времени.

Примем результат выполнения преобразования в следующем виде

$$W = S_{\psi}(a,b) \tag{1}$$

При выполнении вычислений с учетом направления (выборки отсчетов) возможны два получаемых варианта:

$W_F$  — от первого отсчета к последнему;  
 $W_R$  — от последнего к первому.

В общем случае результаты данных преобразований будут отличаться друг от друга, что определяется видом функции  $S_{\psi}(a,b)$ .

Здесь возможны варианты:

а) Блочное выполнение преобразования без изменения направления обработки от блока к блоку  $W_{BL,F}$  приводит к следующему виду

$$W_{BL,F} = [W_{1,F'} W_{2,F'} \dots W_{n,F'}], \tag{2}$$

где  $W_{1,F'} W_{2,F'} \dots W_{n,F'}$  — результаты преобразования для отдельных блоков, выполненные в направлении от начала к концу.

В случае использования обращенного набора исходных данных (от последнего измерения к первому, поблочно) результат блочного выполнения преобразования  $W_{BL,W}$  приводит к следующему виду

$$W_{BL,W} = [W_{1,W'} W_{2,W'} \dots W_{n,W'}], \tag{3}$$

где  $W_{1,W'} W_{2,W'} \dots W_{n,W'}$  — результаты преобразования для отдельных блоков, выполненные в направлении от кон-

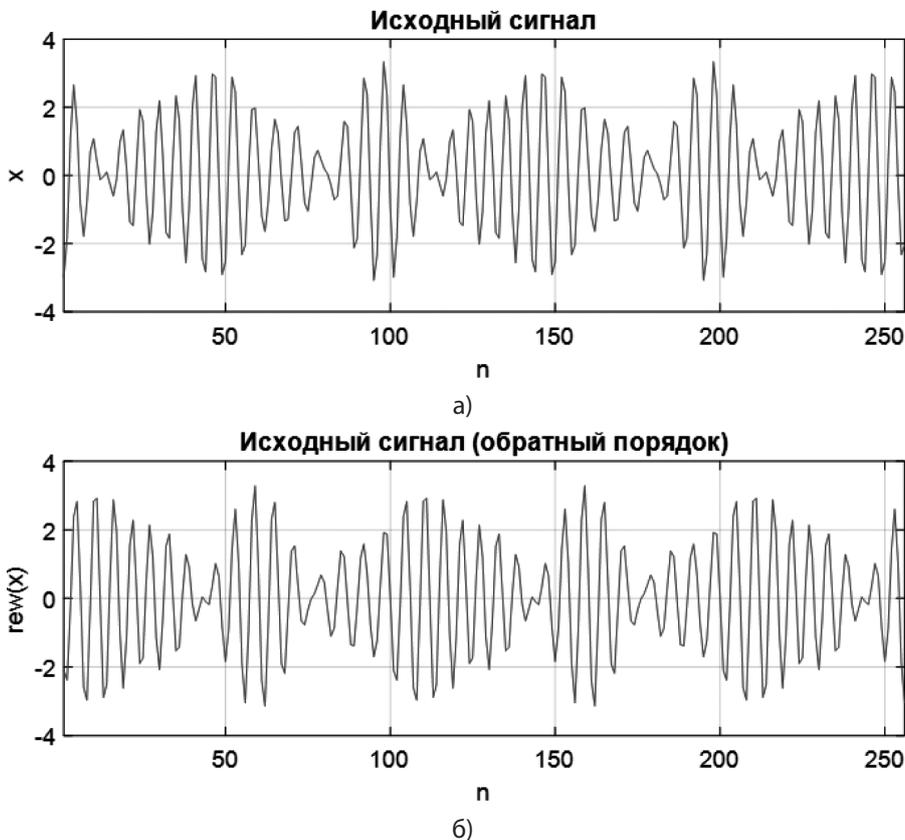


Рис. 1. Исходный сигнал и его обращенное во времени представление

ца к началу. При этом требуется размещать результаты в соответствии с (2).

Следует заметить, что в этом случае возможно, как наличие четного, так и наличие нечетного количества блоков.

б) Блочное преобразование с частичным изменением направления обработки.

Используя подход, предложенный в [15, 16] для быстрого вейвлет-преобразования, применим его для непрерывного вейвлет-преобразования.

Данный подход определяет наличие инвариантности к направлению обработки, что означает получение одинаковых амплитудных значений составляющих результатов преобразования.

Изменение направления обработки в каждом нечетном блоке

$$W_{S1,F} = [W_{1,R'} W_{2,F'} \dots W_{(n-1),R'} W_{n,F'}]. \quad (4)$$

Блоки делятся на 2 вида. Нечетные блоки (номера блоков начинаются с 1, совпадают с представленными в (3) и представляют собой результаты вейвлет-преобразования от обращенных во времени наборов входного сигнала. Четные блоки совпадают с такими же в выражении (2).

Изменение направления обработки в каждом четном блоке

$$W_{S2,F} = [W_{1,F'} W_{2,R'} \dots W_{(n-1),F'} W_{n,R'}]. \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) обладают свойством инвариантности к амплитудным значениям результатов выполнения непрерывного вейвлет-преобразования.

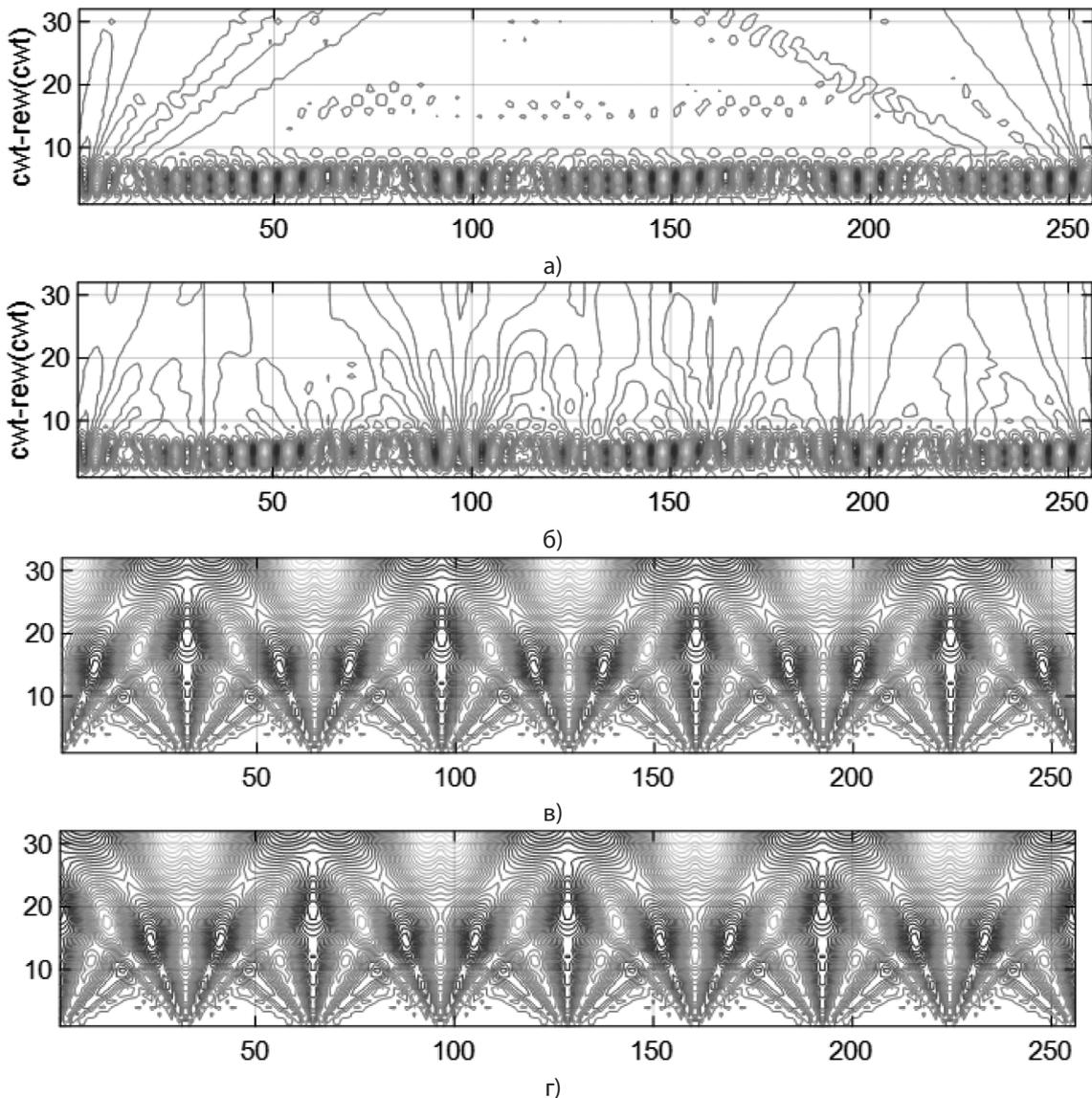


Рис. 2. Графические представления разностей между различными вариантами выполнения преобразований

В связи с тем, что разработанные выражения в явном виде не содержат равенств по отдельным блокам, размещенным в разных частях выражений, для доказательства применим моделирование.

**Результаты моделирования**

При моделировании генерировались тестовые сигналы, которые затем были подвержены многоуровневому преобразованию на основе различных вейвлетов. На Рис. 1 представлен пример исходного сигнала  $x$  (Рис. 1, а) и на (Рис. 1, б) представлен тот же сигнал с инверсным порядком отсчетов ( $rew(x)$ ).

Он представляет собой гармонический сигнал с изменением частоты и амплитуды. Сигнал состоит из  $n = 256$  отсчетов.

Для вейвлет-преобразования исходного сигнала производилось моделирование на основе разработанного программного обеспечения в системе математического моделирования Octave по выражениям (1) — (5).

Для измерения расстояния между результатами непрерывных вейвлет-преобразований для прямого и об-

ращенного наборов тестовых сигналов использовалась метрика Минковского. На Рис. 2 представлены графические представления разностей между различными вариантами выполнения преобразований.

На Рис. 2, а представлены отличия при выполнении непрерывного вейвлет-преобразования при расчетах для исходных данных в направлении начала к концу ( $cwt$ ) и обращенных результатов преобразования от последнего к первому ( $rew(cwt)$ ) для расчетов единым блоком по выражению (1). На Рис. 2, б представлено то же при разделении входного сигнала на 6 блоков при использовании выражений (2) и (3). На Рис. 2, в и Рис. 2, г отражены результаты при использовании выражений (4) и (5). Во всех случаях применялись вейвлеты Добеши длиной 20 элементов ( $db10$ ). Дисперсия разностей для 1 случая равна 5.811, для 2 случая 5.231. В случаях 3 и 4 дисперсия равна  $2.945 \cdot 10^{-7}$ . Таким образом, выражения (4) и (5) позволяют снизить дисперсию до 7 порядков.

Кроме того, основной вклад в отличия вариантов преобразований (4) и (5) вносят краевые искажения, что особенно характерно для вейвлетов с большим количеством коэффициентов (Рис. 3).

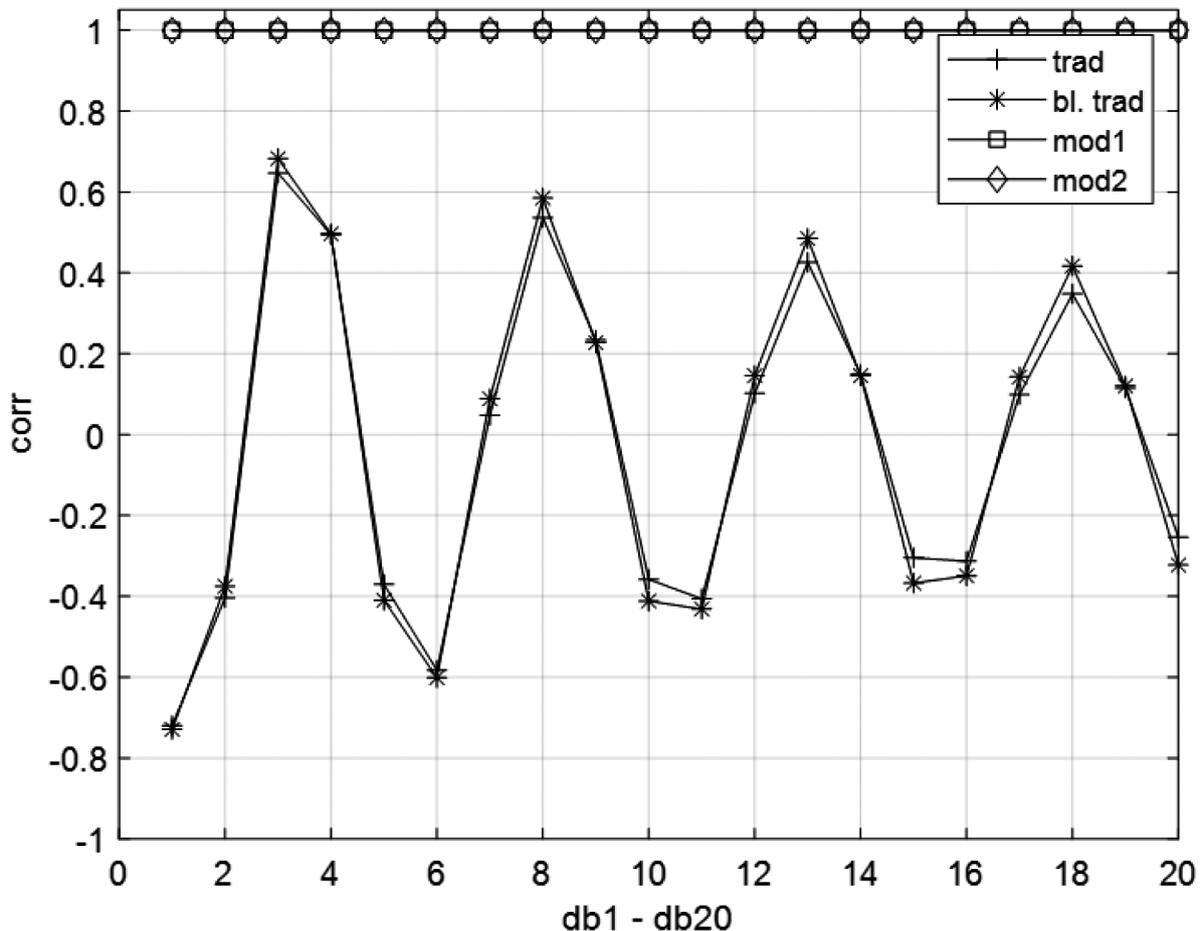


Рис. 3. Зависимости коэффициента корреляции от длины вейвлета

Диапазон амплитуд коэффициента взаимной корреляции «corr» при увеличении номера вейвлета уменьшается для (1) традиционного варианта преобразования «trad» и (2) традиционного блочного варианта преобразования «bl. trad». Для выражений (4) и (5), зависимости которых на Рис. 3 отмечены как «mod1» и «mod2», коэффициент взаимной корреляции практически равен 1, что подтверждает положение об инвариантности к направлению.

Данный эффект может быть использован для снижения количества вычислений при цифровой обработке сигналов на основе непрерывного вейвлет-преобразования.

### Заключение

Предложены математические выражения выполнения вариантов непрерывного вейвлет-преобразования

на основе матричного представления. В основе рассмотрения лежит деление исходного набора данных на отдельные независимые блоки. В качестве формирующего блок выбрано прямоугольное окно.

Рассмотрены варианты выполнения преобразований: традиционный одним блоком; традиционный блочный до  $n$  блоков; два блочных вида с наличием инвариантности к направлению обработки. Предложены аналитические выражения для всех вариантов.

Вычислительная сложность при использовании всех рассмотренных и описанных видов непрерывного вейвлет-преобразования остается прежней, что позволяет использовать преобразования с наличием инвариантности для повышения эффективности разрабатываемых программных и аппаратных средств.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Āuriš, V., Semenov, V.I., Chumarov, S.G. Application of Continuous Fast Wavelet Transform for Signal Processing. — London: Sciemcee Publishing, 1st edition. — 2021. — 181 p.
2. Addison P.S. The Illustrated Wavelet Transform Handbook: Introductory Theory and Applications in Science, Engineering, Medicine and Finance. — CRC Press. — 2017, 2nd edition. — 472 p.
3. Pavliuk O., Mishchuk M., Strauss C. Transfer Learning Approach for Human Activity Recognition Based on Continuous Wavelet Transform. // Algorithms — 2023, — 16(2):77 [Online] Available: <https://doi.org/10.3390/a16020077>
4. Abid M.H.; Nahid A.-A.; Islam M.R.; Parvez M.A. Human Activity Recognition Based on Wavelet-Based Features along with Feature Prioritization. // In Proceedings of the 2021 IEEE 6th International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA), Arad, Romania, — 17–19 December 2021, pp. 933–939.
5. Jalal L.; Peer A. Emotion Recognition from Physiological Signals Using Continuous Wavelet Transform and Deep Learning. // In Proceedings of the HCI International 2022-Late Breaking Papers. Multimodality in Advanced Interaction Environments, Virtual Event. — 26 June–1 July 2022, pp. 88–99.
6. Wang Y., He P. Comparisons between fast algorithms for the continuous wavelet transform and applications in cosmology: the one-dimensional case. // RAS Techniques and Instruments. Published: 13 June 2023. Available: <https://doi.org/10.1093/rasti/rzad020>
7. Han R., Li Y., Gao X., & Wang S. An accurate and rapid continuous wavelet dynamic time warping algorithm for end-to-end mapping in ultra-long nanopore sequencing. // Bioinformatics. — 2018. — Vol. 34, — Issue 17, P. 722–731.
8. Moca V.V., Bârzan, H., Nagy-Dăbâcan, A., & Mureşan, R.C. Time-frequency super-resolution with superlets. // Nature Communication — 2021. — Vol. 12, — P. 1–18.
9. Arts L.P.A., van den Broek E.L. The fast continuous wavelet transformation (fCWT) for real-time, high-quality, noise-resistant time–frequency analysis. // Nature Computational Science. — 2022. — Vol. 2, — P. 47–58.
10. Wang Y., Yang, H.-Y., He P. Continuous Wavelet Analysis of Matter Clustering Using the Gaussian-derived Wavelet. // The Astrophysical Journal. — Vol. 934, — Num. 1, — P. 1–19.
11. Pandey C.P. & Phukan P. Continuous and discrete wavelet transforms associated with Hermite transform / International Journal of Analysis and Applications. — 2020. — Vol. 18, — No. 4. — P. 531–549.
12. Pandey C.P. & Saikia J. The Continuous Wavelet Transform for a q-Bessel Type Operator // International Journal of Analysis and Applications. — 2022. — Vol. 20, — P. 1–19 (2022).
13. Prasada A. & Ansaria Z.A. The Composition of Linear Canonical Wavelet Transforms on Generalized Function Spaces. — 2020. — Available at: <http://www.pmf.ni.ac.rs/filomat>. — doi:10.2298/FIL2012123P
14. Muñoz-Barrutia, A., Ertlé, R., & Unser, M. Continuous Wavelet Transform with Arbitrary Scales and  $O(N)$  Complexity. // Signal Processing — 2002, — Vol. 82(5), — P. 749–757.
15. Shoberg A.G., Shoberg K.A. Influence of execution of orthogonal block transform types and results of comparison // International Conference «Information Technologies in Business and Industry», Journal of Physics: Conference Series. — 2018. — Vol. 1015. — P. 1–4.
16. Shoberg A.G., Shoberg K.A. A data representation based on block wavelet transform in modified form // International multi-conference on industrial engineering and modern technologies (FarEastCon). — 2018. — P. 1–4.

© Шоберг Анатолий Германович (shoberg@rambler.ru); Бабич Полина Владимировна (2018100601@pnu.edu.ru);

Шоберг Георгий Анатольевич (shoberg.g@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ОСТРЫМ ПАНКРЕАТИТОМ В СТАВРОПОЛЬСКОМ КРАЕ В ПЕРИОД 1996–2021 ГГ.

### ANALYSIS OF THE INCIDENCE OF ACUTE PANCREATITIS IN THE STAVROPOL TERRITORY FROM 1996 TO 2021

**E. Baychorov**  
**N. Gandzha**  
**V. Baturin**  
**E. Bayramkulov**  
**F. Bidzhieva**

*Summary.* Acute pancreatitis is an actual medical and social concept, considered because of a combination of production and alimentary factors. Despite the long-term practice of diagnosis and therapy of this pathology, this issue is of interest in the framework of statistical analysis to monitor and regulate the situation by region. This article presents data on the incidence of acute pancreatitis in the Stavropol Territory in the period from 1996 to 2021.

*Keywords:* acute pancreatitis, infected pancreatic necrosis.

**Байчоров Энвер Хусейнович**

д.м.н., профессор, главный хирург,  
Ставропольский государственный  
медицинский университет  
enverb@yandex.ru

**Ганджа Николай Сергеевич**

врач-хирург, Государственное бюджетное учреждение  
здравоохранения Ставропольского края  
«Городская клиническая больница №2»,  
nickgand@rambler.ru

**Батурин Владимир Александрович**

д.м.н., профессор, Ставропольский государственный  
медицинский университет  
v\_baturin@mail.ru

**Байрамкулов Энвер Далхатович**

к.м.н., врач-травматолог-ортопед, Государственное  
бюджетное учреждение здравоохранения  
Ставропольского края «Ставропольская краевая  
клиническая больница»  
Bayramkulov\_2342@mail.ru

**Биджиева Фатима Асхатовна**

Старший преподаватель, Ставропольский  
государственный медицинский университет  
Bidzhieva\_Fatima@bk.ru

*Аннотация.* Острый панкреатит представляет собой актуальную медико-социальную концепцию, рассматриваемую как результат сочетания производственных и алиментарных факторов. Несмотря на многолетнюю практику диагностики и терапии данной патологии данный вопрос представляется интерес в рамках статистического анализа для отслеживания и регулирования ситуации по регионам. В данной статье приведены данные по заболеваемости острым панкреатитом в Ставропольском крае в период с 1996 по 2021 гг.

*Ключевые слова:* острый панкреатит, инфицированный панкреонекроз.

### Актуальность

Острый панкреатит (далее ОП) продолжает занимать лидирующие позиции в группе экстренной хирургической патологии. Неуклонный рост заболеваемости, тяжелое течение и высокий уровень смертности при ОП представляет сложную проблему для практического здравоохранения.

По данным ВОЗ заболеваемость ОП составляет от 4,9 до 73,4, а в РФ 30–38 на 100000 тыс. населения в год [1,2]. Количество деструктивных форм заболевания встречается в пределах 25–30 % случаев и до настоящего момента не имеет динамического снижения. Летальность при остром деструктивном панкреатите демонстрирует неутешительные данные: в зависимости от тяжести те-

чения заболевания смертность достигает почти 75 % [3]. Инфицированный панкреонекроз (далее ИПН) остается одной из глобальных проблем при лечении воспалительных заболеваний поджелудочной железы [4,5].

Этиологические факторы развития ОП в Ставропольском крае, начиная с середины 90-х гг. прошлого века до второго десятилетия XXI века, как было выяснено в ходе исследования, трансформировались. Раннее основными причинами считались желчнокаменная болезнь (далее ЖКБ), злоупотребление алкоголем, алиментарные факторы. По данным отечественных ученых наличие ЖКБ являлось причиной ОП более чем в половине случаев госпитализаций. На сегодняшний день основные факторы — это злоупотребление алкоголем и алиментарный фактор [6–9]. Это объясняется тем, что

количество госпитализаций пациентов с ОП за последние годы увеличивается, несмотря на уменьшение доли больных с ЖКБ, благодаря активному внедрению лапароскопических операций как при бессимптомном, так и при остром холецистите.

Увеличение количества госпитализаций лиц трудоспособного возраста с ОП, частое развитие деструктивных форм, тяжелых гнойно-септических осложнений, требующих колоссальных экономических ресурсов, высокие показатели смертности, неудовлетворительные результаты, приводящие к инвалидизации и социальной дезадаптации, выдвигают эту патологию на особый план, обозначая ее как серьезную медико-социально-экономическую проблему [10].

Высокие цифры заболеваемости ОП с 1996 г. по 2015 г. обусловлены недостаточным владением практикующими врачами информацией о патогенезе, объективных диагностических исследованиях и/или отсутствием таковых, тактических решений в лечении данной патологии. По мере совершенствования диагностических алгоритмов, создания общепринятых рекомендаций, привели к изменению подходов к лечению деструктивных форм острого панкреатита.

*Цель работы:* провести анализ заболеваемости ОП в Ставропольском крае в период с 1996 г. — 2021 гг. и определить частоту встречаемости ИПН среди больных с ОП.

### Материалы и методы

Проведен ретроспективный анализ форм федерального статистического наблюдения № 12 «Сведения о числе заболеваний, зарегистрированных у пациентов, проживающих в районе обслуживания медицинской организации по Ставропольскому краю» представлен-

ных информационно-аналитическим центром в период с 1996 по 2021 гг. На основе ежегодных отчетов главного хирурга Ставропольского края по оказанию хирургической помощи жителям городских и сельских стационаров изучены основные показатели лечебной деятельности у больных с ОП и его деструктивных форм.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы StatTech v. 2.6.1. Проведен анализ заболеваемости ОП и ИПН, хирургической активности, исходов лечения в сравнительном аспекте каждого периода наблюдения. Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критериев  $\chi^2$  Пирсона.

### Результаты и обсуждение

Заболеваемость острым панкреатитом на Ставрополье, начиная с 1996 г., имела неуклонный рост и составила 1624 человека на текущий период ( $p < 0,05$ ). К 2014 г. численность больных, нуждающихся в госпитализации с данной патологией, увеличилось в 3 раза ( $p < 0,001$ ). До 2012 г. среди urgentных хирургических заболеваний органов брюшной полости ОП находился на третьем месте, но в период 2015–2017 гг. вышел на первое, опередив острый аппендицит и острый холецистит. Согласно представленным данным пик ОП приходится на период 2012–2015 гг., в период, когда заболеваемость от 1996–1999 гг. выросла в 2,4 раза (рис. 1). В настоящее время отмечается некоторое уменьшение количества госпитализаций с данной патологией ( $p < 0,001$ ).

Лечение ОП, особенно его деструктивных форм представляло одну из сложных задач для хирургических отделений городских и сельских стационаров в тот период.

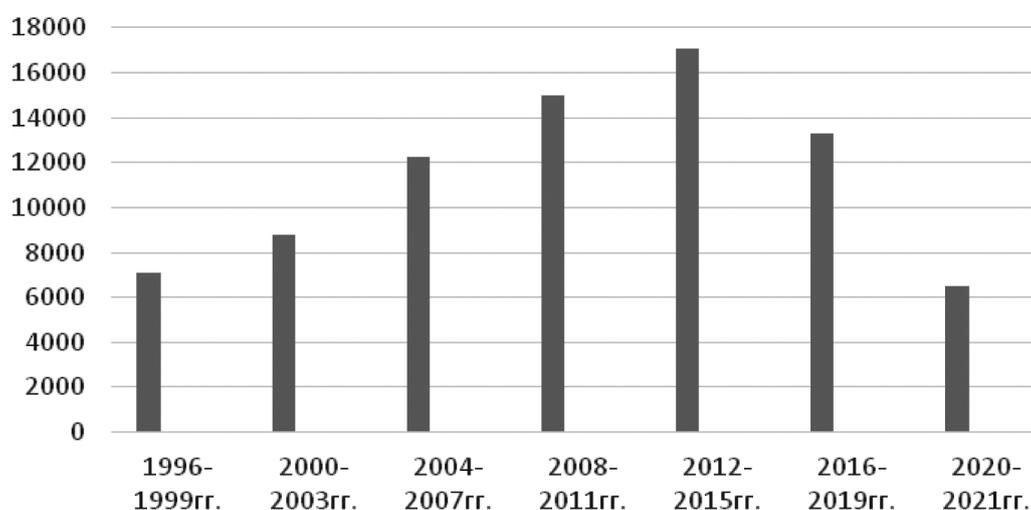


Рис. 1. Заболеваемость ОП ОП в период с 1996 по 2021 гг.

Анализ отечественных литературных данных по лечению ОП показал, что неудовлетворительные результаты обусловлены следующими причинами:

1. Несвоевременное выполнение УЗИ органов брюшной полости, ЭГДС желудка и двенадцатиперстной кишки приводило к запоздалой постановке диагноза;
2. Неадекватные и нецелесообразные схемы инфузионно-детоксикационной и антибактериальной терапии;
3. Недостаточная антисекреторная терапия;
4. Запоздалая диагностика или, наоборот, гипердиагностика инфекционных осложнений;
5. Отсутствие четкого понимания показаний и сроков выполнения оперативного вмешательства.

Подходы к хирургическому лечению ОП по мере развития возможностей лабораторно-инструментальной диагностики, появления прогностических шкал оценки тяжести состояния и течения заболевания претерпели изменения.

Начиная с 90-х гг. при лечении ОП средней и тяжелой степени предпочтение отдавалось активной хирургической тактике (рис. 2). Такая «порочная» тенденция, где оперативные вмешательства выполнялись в 1 фазу заболевания, приводила к уменьшению количества больных ИПН, за счет высокой послеоперационной летальности пациентов с СПН.

Хирургическая активность в 1996–1999 гг. составляла 15,8 % и прогрессивно снижалась, остановившись на 4,8 % в 2016–2019 гг. ( $p < 0,001$ ) несмотря на высокую заболеваемость в этот период. Подход к лечению ОП за последние 10 лет коренным образом изменился, так активная выжидательная тактика на фоне консервативной терапии позволила сократить количество инфицированных форм за счет четко сформулированных показаний и выборе сроков к оперативному лечению, тем самым препятствуя инфицированию СПН. Использование пункционно-дренирующих методов под УЗИ и КТ-наведением, лапароскопических технологий позволило улучшить результаты хирургического лечения и снизить послеоперационные осложнения.

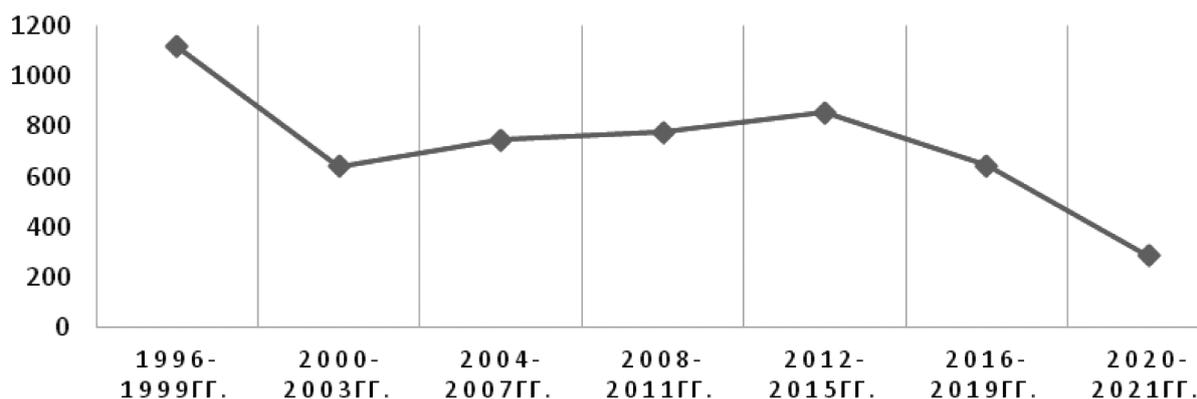


Рис. 2. Количество больных оперируемых по поводу ОП в период с 1996 по 2021 гг.



Рис. 3. Встречаемость инфицированных форм панкреонекроза при ОП в период с 1996 по 2021 гг.

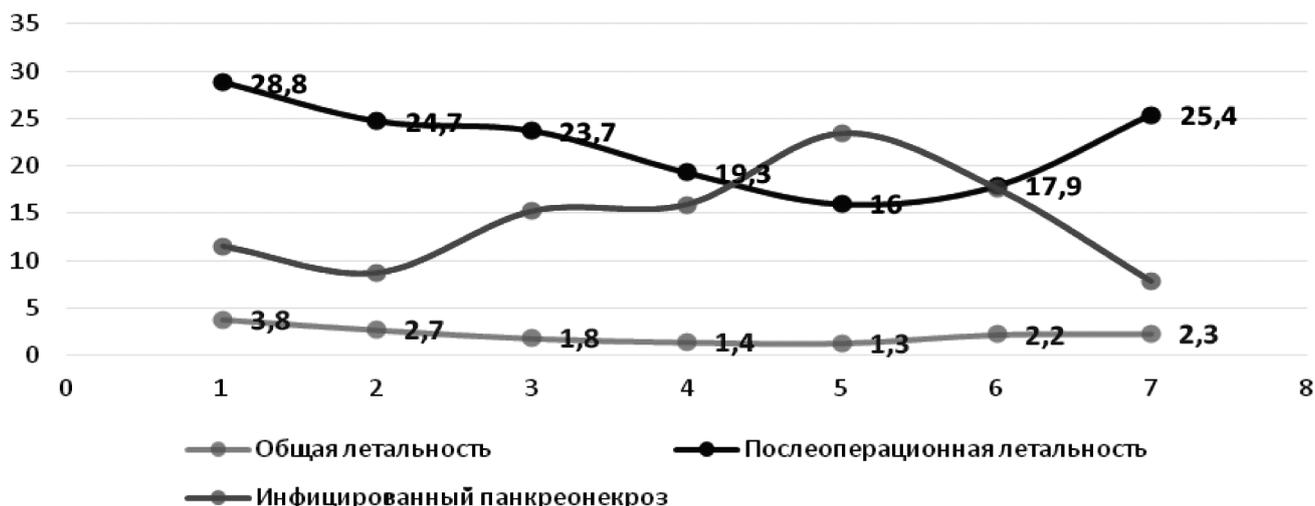


Рис. 4. Показатели общей и послеоперационной летальности при тяжелых формах острого панкреатита (%)

Деструктивные формы острого панкреатита является одной из приоритетных проблем ургентной хирургии на Ставрополье — об этом говорят высокие цифры летальности. Высокая смертность обусловлена тяжестью течения заболевания, сложностью прогнозирования, определением сроков и методов оперативного лечения. Имеющиеся на сегодняшний день маркеры прогнозирования ОДП не всегда своевременно и достоверно сигнализируют о развитии инфекционного процесса в ПЖ или парапанкреатической клетчатке. Количество пациентов ИПН с 1996 г. не имеет тенденции к снижению, этот показатель остается стабильно высоким на фоне общего снижения госпитализаций больных начиная с 2016 г. (рис. 3).

Послеоперационная летальность начиная с 1996 г. имела тенденцию к снижению, и в 2012–2015 гг. упала практически в 2 раза, а оперативная активность уменьшилась в 3 раза ( $p < 0,001$ ). Анализ послеоперационной и общей летальности приводит к заключению, что целенаправленное использование комплексных методов консервативного лечения, включающих адекватное обезболивание, полноценную инфузионно-детоксикационную и антисекреторную терапию, адекватную экстракорпоральную детоксикацию, а при деструктивных

формах применение миниинвазивных технологий, позволило улучшить результаты лечения (рис. 4). Понимание патофизиологических этапных изменений в поджелудочной железе и организме в целом, фазовое течение процесса, позволило определить причины, влияющие на течение и исход деструктивного панкреатита.

#### Выводы

1. Заболеваемость ОП на Ставрополье в период с 1996 по 2015 гг. указывает на динамичный рост, но уже с 2016 по 2021 гг. ситуация меняется: отмечается снижение заболеваемости на 22 %.
2. Изменение подходов к терапии деструктивных форм ОП позволило снизить к 2015 г. послеоперационную летальность до 16 % и хирургическую активность до 5 %.
3. Ранняя диагностика и предупреждение развития ИПН по-прежнему остается актуальной проблемой, требующей внимания специалистов по причине отсутствия оптимальных предикторов данной патологии. Доля инфицированных форм ОП в период с 1996 по 1999 гг. и с 2020 по 2021 гг. составила 11,5 % и 7,8 % соответственно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Munigala S, Yadav D. Case-fatality from acute pancreatitis is decreasing but its population mortality shows little change. *Pancreatology*. 2016; 16(4): 542–550
2. Тезяева, С.А. Деструктивный панкреатит: наши достижения или тупик? / С.А. Тезяева, Р.А. Млинник, А.А. Бородкин // Журнал МедиАль — 2017. — №2. — С.30–35.
3. Стяжкина С.Н., Протопопов В.А., Даровских А.А., Акимов А.А. Смертность от острого панкреатита в Удмуртской республике за период 2012–2015 года // Журнал научных статей Здоровье и образование в XXI веке. 2017. Т. 19, № 9. С. 119–121.
4. Анищенко В.В., Ким Д.А., Баром Г.И. и др. Предикторы раннего хирургического вмешательства у больных тяжелым острым панкреатитом // *Acta Biomedica scientifica*. 2017. Т. 2, № 6. С. 86–91.
5. Подолужный В.И. Острый панкреатит: современные представления об этиологии, патогенезе, диагностике и лечении // *Фундам. и клин. медицина*. 2017. № 4. С. 62–71. 3.
6. Гольцев В.П. Оценка роли алкогольного фактора в развитии острого панкреатита / В.П. Гольцев, В.Е. Назаров, Д.А. Дымников: Мат-лы II междисциплинарного российского конгресса «Человек, алкоголь, курение и пищевые аддикции». СПб., 24–25 апреля 2008 г. С. 9–15.

© Байчоров Энвер Хусейнович (enverb@yandex.ru); Ганджа Николай Сергеевич (nickgand@rambler.ru);  
 Батурин Владимир Александрович (v\_baturin@mail.ru); Байрамкулов Энвер Далхатович (Bayramkulov\_2342@mail.ru);  
 Биджиева Фатима Асхатовна (Bidzhieva\_Fatima@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ ПАНКРЕОНЕКРОЗОМ

### WAYS TO IMPROVE THE EFFECTIVENESS OF TREATMENT OF PATIENTS WITH PANCREATIC NECROSIS

**E. Baychorov  
N. Gandzha  
E. Gerasimova  
R. Botashev  
L. Tsoroeva**

*Summary.* The number of patients with acute destructive forms of pancreatitis in Russia is 20–40 % of the total number of patients with acute pancreatitis. At the same time, the overall mortality rate within this pathology ranges from 24 to 60 %, and postoperative mortality is more than 70 %. The purpose of this research work is to optimize surgical tactics, considering the prediction and timely diagnosis of the timing of the transformation of sterile pancreatic necrosis into an infected one in order to improve the effectiveness of the results of treatment of patients with this pathology.

*Keywords:* pancreatic necrosis, acute pancreatitis, infected pancreatic necrosis.

**Байчоров Энвер Хусейнович**

д.м.н., профессор, главный хирург, Ставропольский государственный медицинский университет  
enverb@yandex.ru

**Ганджа Николай Сергеевич**

врач-хирург, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Ставропольского края «Городская клиническая больница №2»,  
nickgand@rambler.ru

**Герасимова Екатерина Сергеевна**

Ставропольский государственный медицинский университет  
gerasimova\_k00@mail.ru

**Боташев Роберт Алибекович**

Ставропольский государственный медицинский университет  
Robert2012\_Botashev@mail.ru

**Цороева Лилита Мовлиевна**

Врач-терапевт,  
Ингушский государственный университет  
Tsoroeva912@yandex.ru

*Аннотация.* Число пациентов с острыми деструктивными формами панкреатита в России составляет 20–40 % от общего числа больных с острым панкреатитом. При этом общий уровень смертности в рамках данной патологии составляет от 24 до 60 %, а послеоперационная смертность — более 70 %. Целью данной исследовательской работы является оптимизация хирургической тактики с учетом прогнозирования и своевременной диагностики сроков трансформации стерильного панкреонекроза в инфицированный с целью улучшения эффективности результатов лечения больных с данной патологией.

*Ключевые слова:* панкреонекроз, острый панкреатит, инфицированный панкреонекроз.

В России заболеваемость острым панкреатитом (далее ОП) колеблется от 20 до 80 человек на 100000 населения. С увеличением числа пациентов с ОП повышается удельный вес больных с деструктивными формами. Так, среди больных острым панкреатитом число деструктивных форм заболевания в РФ составляет 20–40 % [1, 2]. За последние 20 лет случаи поражения различных отделов брюшинной клетчатки с развитием флегмон, абсцессов стали встречаться значительно чаще — число их возросло с 15 до 25 % случаев [3–5]. Общая летальность при деструктивных формах достигает 24–60%, а послеоперационная — 70 % и более, причем она не имеет тенденций к снижению на сегодняшний день [6–8].

Трудности прогнозирования, развития гнойно-некротических осложнений, важность их своевременной

диагностики обуславливают необходимость совершенствования и унификации лечебно-диагностического алгоритма при различных формах панкреонекроза [9–11].

Таким образом, вопросы прогнозирования, своевременной диагностики факта инфицирования, выбора лечебной тактики при ОП остаются нерешенными, что обуславливает высокую летальность при данной патологии и требуют дальнейшего изучения проблемы, создания современных алгоритмов диагностики и лечения.

*Цель:* оптимизация хирургической тактики с учетом прогнозирования и своевременной диагностики сроков трансформации стерильного панкреонекроза в инфицированный с целью улучшения эффективности результатов лечения больных с данной патологией.

## Материалы и методы

Формирование ядра рандомизированного исследования было совершено на изучении историй болезни 80 пациентов (включая мужчин и женщин), проходивших лечение в ГБУЗ СК «Ставропольская краевая клиническая больница» и ГБУЗ СК «ГКБ №2», с учетом критериев включения и исключения по данной исследовательской работе.

Был проведен анализ показателей эффективности терапии с предложенным автором комплексом диагностических, прогностических, профилактических и лечебных методов по сравнению с традиционными протоколами диагностики и терапии. Основанием для формулирования гипотезы о недостаточной эффективности традиционных лечебно-диагностических методов послужил анализ данных отечественной литературы и статистических данных по ИПН в Ставропольском крае за последние тридцать лет.

### Критерии включения:

1. Пациенты с диагностированным острым панкреатитом средней и тяжелой степени тяжести;
2. Возраст: старше 18 лет.

### Критерии исключения:

1. Отечный панкреатит;
2. Больные с фульминантными формами панкреонекроза с летальным исходом в течение первых 3 суток с момента госпитализации.

На стационарном лечении на базах исследования за период с 2018 по 2020 годы находилось 80 больных с острым деструктивным панкреатитом, у 29 (36,3 %) из которых в последующем диагностирована инфицированная форма деструктивного панкреатита.

Объективную оценку тяжести состояния больных с СПН контрольной группы в динамике проводили с помощью шкалы интегральной оценки APACHE-II, а у больных с СПН основной группы — с помощью разработанного алгоритма, позволяющего прогнозировать прогрессирование заболевания с возможным переходом СПН в ИПН. У наблюдаемых больных в динамике развития СПН определялись: функциональная активность нейтрофильных лейкоцитов, содержание катионного белка (КБ), уровни активности миелопероксидазы (МПО), кислой (КФ) и щелочной фосфатазы (ЩФ), а также концентрация DEFa1 и Ubiquitin Protein Ligase E3 в плазме крови. Для выявления у пациентов с панкреонекрозом изменений в поджелудочной железе и окружающих ее тканях применялись мультиспиральная КТ с контрастным усилением, методы ультразвуковой (SAL 77A «TOSHIBA» и SSD 500 «ALOKA», Япония), эндоскопической («OLYMPUS» CFQ160AL/I, Япония) и рентгенологиче-

ской (DIAGNOST 56 «PHILIPS» и Tomoskan M-EG «Philips-Analogic», ФРГ) диагностики.

В сравниваемых группах учитывались разнообразные и одинаково доступные для сравнения параметры: возраст, пол, место жительства пациента, нозология, тяжесть течения заболевания, методы диагностики, лечения и профилактики осложнений и др., что позволило минимизировать системные и случайные ошибки и повысить достоверность исследования.

Статистическая обработка результатов исследования проведена при помощи пакета прикладных программ «Statistica 6.0» («StatSoft inc», США). Для проверки гипотезы о нормальности распределения использовали показатели асимметрии и эксцесса. Данные, полученные в результате исследования, соответствуют нормальному закону распределения. Для оценки статистической значимости различий количественных признаков в независимых выборках использовался *t* критерий Стьюдента. Описание количественных признаков проводилось в виде средней и ее стандартной ошибки, а описание качественных признаков — в виде процентов с указанием границ 95 %-доверительного интервала. Статистическая значимость различий принималась достоверной при доверительной вероятности  $p < 0,05$ .

## Результаты

Оценка тяжести течения патологического процесса у 40 пациентов контрольной группы по данным интегральной шкалы APACHE-II показала, что до 11 суток после установления диагноза СПН тяжесть течения у всех больных не превышала  $11 \pm 2,1$  баллов. Начиная с 15 суток у 9 (22,5 %) пациентов состояние начало ухудшаться, что выразилось в нарастании суммы баллов по интегральной шкале —  $14 \pm 1,8$ . К 19 суткам отмечается увеличение количества тяжелых больных с суммой баллов  $16 \pm 2,8$  — 18 (55 %) случаев. Такое изменение в состоянии пациентов нами расценивалось как переход СПН в ИПН.

Таким образом, только к 19 суткам, то есть уже на достаточно поздних стадиях развития патологического процесса, более чем у половины больных с СПН удалось заподозрить развитие инфекционных осложнений, что потребовало верификации диагноза инструментальными методами исследования. Следует отметить, что УЗИ не дает точной дифференцировки СПН и ИПН. Сонографические признаки, характерные для ИПН, выявляются на поздних стадиях течения гнойно-септических осложнений. КТ, позволяющая сделать заключение о прогрессировании заболевания, выполнялась, как правило, на 5–7 сутки от начала заболевания, а затем по «требованию» с учетом динамики клинико-лабораторных показателей, в том числе и для решения вопроса о показаниях к выполнению хирургического вмешательства и его сроках.

Комплексная консервативная терапия проводилась по стандартам.

Проводимая консервативная терапия у 3 (7,5 %) больных с СПН привела к полному регрессу воспалительного процесса без хирургических вмешательств. Использование малоинвазивных вмешательств под УЗИ и КТ контролем позволили у 19 (47,5 %) пациентов добиться купирования воспалительных явлений, избежать инфицирования СПН и выполнения традиционных хирургических вмешательств. У 18 (45,0 %) больных воспалительный процесс прогрессировал, развились 28 осложнений: абсцессы сальниковой сумки — у 14 (50 %) пациентов; флегмона забрюшинного пространства и панкреатогенный абсцесс — по 5 (17,9 %) больных; распространенный гнойный перитонит в 4 (14,3 %) наблюдениях.

При оценке тяжести течения ПН до  $11 \pm 2,1$  баллов по шкале APACHE-II на фоне комплексной консервативной терапии у 19 (47,5 %) больных с СПН с успехом применены малоинвазивные пункционные методы (под УЗ — и МСКТ — контролем), эндоскопические вмешательства. При выявлении в процессе проводимого лечения у 2 (5%) пациентов секвестров крупных размеров использовались малоинвазивные технологии с последующими открытыми хирургическими вмешательствами. Ухудшение состояния пациентов, соответствовавшее  $14 \pm 1,8$  баллам по шкале APACHE-II, требовало усиления интенсивности и объема консервативных мероприятий, выполнения инструментальной диагностики (УЗИ, КТ), и, с учетом полученных результатов, перехода на дренажные методики у 6 (15 %) больных СПН. У 4 (10 %) пациентов это позволило предотвратить инфицирование СПН и добиться купирования воспалительного процесса. У 2 (5 %) больных развились отграниченные формы гнойных осложнений (гнойный оментобурсит, панкреатогенные абсцессы). Интенсивная консервативная терапия в сочетании с малоинвазивными технологиями и этапными программированными санациями очагов некроза, оказались успешными, у этих пациентов удалось полностью купировать воспалительный процесс.

Отсутствие эффекта от применяемых малоинвазивных методик, повышение баллов по шкале APACHE-II до  $16 \pm 2,8$  и выше, как правило к концу 3-й недели течения ПН, явилось показанием к переходу от минимально инвазивных технологий к традиционным открытым методикам лечения у 6 (15 %) пациентов.

Изначально открытые традиционные хирургические методы лечения были применены у 10 (25 %) больных. При выявлении распространенного гнойного перитонита у 4 (10 %) больных оперативное лечение осуществлено в экстренном порядке.

Длительность стационарного лечения у больных с СПН составила  $42,5 \pm 2,7$  суток, а с ИПН —  $62,7 \pm 4,2$  койко-дней. В поздние сроки лечения умерло 9 (22,5 %) больных.

При лечении больных основной группы на фоне консервативной терапии с учетом результатов лабораторно-инструментальной диагностики у 4 (10 %) больных процесс купировался без хирургических вмешательств. У 12 (30 %) пациентов предотвратить дальнейшее прогрессирование воспалительного процесса удалось с применением малоинвазивных технологий. При оценке тяжести течения ПН у этих больных по шкале балльной оценки APACHE-II сумма не превышала  $12 \pm 1,8$  баллов. По данным УЗИ и КТ у них были выявлены жидкостные образования в брюшной полости и сальниковой сумке, требовавшие выполнения пункционно-дренажных вмешательств. Исследование функционального состояния лейкоцитов у этой группы больных с СПН выявило определенный сдвиг метаболической активности гранулоцитов периферической крови: после умеренного снижения активности МПО и КБ в первые 7 суток, в последующие периоды наблюдается плавное повышение, приближаясь к «нормальным» показателям. Активность КФ и ЩФ после повышения в первые 7 суток от начала развития СПН постепенно снижалась, не достигая уровня нормы.

В динамике развития воспалительного процесса у 13 (32,5 %) больных с СПН к 7 суткам содержание DEFa1 в плазме крови превышало уровень показателя «начало исследования» более чем в 4 раза. К 11 суткам исследования у пациентов с СПН на фоне интенсивной терапии с использованием малоинвазивных вмешательств под УЗИ/КТ контролем, эндоскопических вмешательств, отмечалось снижение содержания DEFa1 прогрессивно и достоверно ( $P < 0,05$ ), а к 19 суткам концентрация не достигала уровня нормы. Концентрация Ubiquitin Protein Ligase E3 нарастала до 11 суток, на фоне проводимого лечения его значение постепенно и достоверно ( $P < 0,05$ ) снижалось к 19 суткам.

У 11 (27,5 %) больных исследование функциональной активности лейкоцитов периферической крови имело другую направленность. У них с 1 дня исследования продолжалось выраженное угнетение активности МПО и содержания КБ; высокая активность КФ и ЩФ; нарастание уровня DEFa1 и UBR1 в сыворотке крови. При оценке тяжести течения заболевания этих больных отмечено ухудшение, соответствующее  $15 \pm 2,5$  баллам по шкале APACHE-II. Это потребовало усиления интенсивности и объема консервативных мероприятий, выполнения в динамике инструментальной диагностики (УЗИ, КТ), и, с учетом полученных результатов, перехода на дренажные методики с 10–11 суток. Проводимая терапия способствовала повышению активности МПО и КБ, а активность КФ и ЩФ с момента использования дренажных

методик снижалась. Концентрация DEFa1 и UBR1 — в сыворотке крови прогрессивно снижалась.

Отсутствие эффекта от применяемых малоинвазивных методик к 15 суткам лечения ПН, результаты изучения функциональной активности гранулоцитов периферической крови, высокие концентрации DEFa1 и UBR1 в сыворотке крови служили показанием к переходу от малоинвазивных технологий к традиционным открытым методикам у 5 (12,5 %) пациентов. Оценка тяжести состояния у них по шкале APACHE-II составила  $15 \pm 2,8$  баллов. Изначально открытые традиционные хирургические методы лечения были применены у 3 (7,5 %) больных.

Выполненные лабораторно-инструментальные исследования выявили у 1 (2,5 %) больного с ПН абсцесс сальниковой сумки и еще у 2 (5 %) — панкреатогенный абсцесс. Факт инфицирования был подтвержден результатами бактериологического исследования, отделяемого из дренажей. Консервативная терапия в сочетании с мини-инвазивными технологиями и этапными программированными санациями очагов ИПН оказались успешными, у этих пациентов удалось полностью купировать воспалительный процесс. Показанием к удалению дренажей являлось отсутствие гнойного отделяемого и не дренируемых затеков, для визуализации которых применялась фистулография.

Разработанная методика ранней диагностики и прогнозирования течения ПН основной группы, позволила изменить подходы к выбору хирургической тактики по отношению к контрольной группе, что привело к уменьшению инфекционных осложнений, а, следовательно, повышению эффективности лечения (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что в основной группе преобладали малоинвазивные вмешательства, и в меньшем количестве было открытых операций. Это свидетельствует о том, что эффективность малоинвазивных технологий в «обрыве» прогрессирования патологических изменений в поджелудочной железе имеет большое преимущество в предупреждении развития инфекционных осложнений панкреонекроза.

У 11 (27,5 %) больных развились осложнения инфекционного характера: в 5 (12,5 %) случаях абсцессы сальниковой сумки, флегмона забрюшинного пространства — у 1 (2,5 %), панкреатогенный абсцесс и распространенный гнойный перитонит — у 3 (7,5 %) и 2 (5 %) больных соответственно. Длительность стационарного лечения у больных основной группы с СПН составила  $34,3 \pm 2,2$  суток, а с ИПН —  $49,1 \pm 4,3$  койко-дней. Общая летальность составила 10,0 % — умерло 4 больных ПН, послеоперационная — 7,5 %.

Таблица 1.

Тактика лечения больных с острым деструктивным панкреатитом (Р-достоверность различий по отношению к основной группе)

Вид вмешательства	Основная группа (n=40)	Контрольная группа (n=40)	P
Без оперативных вмешательств (комплексная консервативная терапия)	4	3	0,07
Малоинвазивные:			
— пункционные и дренирующие под УЗИ и КТ наведением	16	13	0,01
— видеолaparоскопическая санация и дренирование	8	6	0,03
Малоинвазивные с последующим открытым вмешательством	5	8	0,01
Традиционные:			
— открытые (лапаротомия, санация и дренирование брюшной полости)	3	10	0,001

### Обсуждение

ИПН протекает с развитием некроза ПЖ и/или парапанкреатической клетчатки, вызывает полиорганную недостаточность, поэтому его ранняя диагностика, которая встречает большие трудности, является актуальной, так как развивающиеся осложнения приводят к неудовлетворительным непосредственным и отдаленным результатам лечения, высоким показателям смертности.

Диагностика инфицирования СПН в ранние сроки оказывается чаще всего запоздалой. Так в первые 7 суток это удается только у 24 % больных, в течение 8–14 суток — у 36 %, 15–21 суток — у 71 % [8, 11].

Многие авторы отдают предпочтение малоинвазивным вмешательствам под навигационным контролем, что позволяет более адекватно выполнять дренирование гнойно-некротических очагов поджелудочной железы и парапанкреатической клетчатки [2, 7, 12, 14].

Как показывает анализ результатов обследования и лечения больных контрольной группы, используемый традиционный клинко-диагностический подход к выставлению показаний к оперативному лечению ПН, к сожалению, дает возможность сделать их на поздних стадиях развития патологического процесса, в сроки 19 суток и позже, как правило, уже после установления факта инфицирования СПН. Примененная хирургическая тактика с учетом разработанного диагностического алгоритма при панкреонекрозе и его гнойных осложнениях способствовала: снижению открытых хирургических вмеша-

тельств на 55 %; сокращению сроков стационарного лечения больных со стерильным панкреонекрозом на 8,2 суток, инфицированным панкреонекрозом — на 13,6 суток; уменьшение количества инфекционных осложнений — с 45 % до 27,5 %; понижению общей летальности с 22,5 % до 10,0 %.

### Заключение

Использование предложенного диагностического алгоритма для прогнозирования развития инфекцион-

ных осложнений ПН у больных основной группы позволило, по сравнению с пациентами контрольной группы, на 3–5 суток раньше принимать решения о показаниях к назначению дополнительных уточняющих инструментальных исследований и перейти на другие, более эффективные методы лечения. Предложенный подход к выбору хирургического пособия у больных с панкреонекрозом позволил существенно снизить количество гнойных осложнений, общую летальность, сократить сроки госпитального лечения.

---

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шульга А.Ф., Суворов И.И., Рамазанов Р.Б., Рутенбург Г.М., Протасов А.А. Оптимизация методов и выбора тактических решений в хирургии деструктивного панкреатита. *Здоровье — основа человеческого потенциала: проблемы и пути решения*. 2019;14: 1: 370–375.
2. Галлямов Э.А., Агапов М.А., Луцевич О.Э., Какоткин В.В. Современные технологии лечения инфицированного панкреонекроза: дифференцированный подход. *Анналы хирургической гепатологии*. 2020; 25:1: 69–78.
3. Довнар, И.С, Милешко М.И. Современные малоинвазивные и традиционные методы лечения панкреонекроза. Республиканская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 60-летию Гродненского государственного медицинского университета. 2018; 272–274.
4. MamoounJR, IshtiaqH, SundasJ,Waqas U, Saeed A, Akriti G, Rashid MU. Pancreatic necrosis: Complications and changing trend of treatment. *World J. Gastrointest Surg*.2019; 1: 4: 198–217.
5. Демин Д.Б., Солодов Ю.Ю., Соболев Ю.А., Фуныгин М.С., Савин Д.В. Комбинированное этапное лечение панкреонекроза. *Оренбургский медицинский вестник*. 2019; 7:2 (26): 19–22.
6. Бахтин В.А., Русинов В.М., Янченко В.А., Патласов А.В. Роль и место мини-инвазивных вмешательств и лапаротомии в лечении инфицированного панкреонекроза. *Вятский медицинский вестник*. 2020;2: 66: 50–55.
7. Portelli M, Jones CD Severe acute pancreatitis: pathogenesis, diagnosis and surgical management. *Hepatobiliary Pancreat. Dis. Int*. 20174 16: 2: 155–159.
8. Ермекова М.А., Алиякпаров М.Т., Черемисин В.М. Шакеев К.Т., Камышанская И.Г. Возможности лучевых методов в диагностике и прогнозе острого панкреатита и его осложнений. *Медицина и экология*.2019;1:90: 80–91.

---

© Байчоров Энвер Хусейнович (enverb@yandex.ru); Ганджа Николай Сергеевич (nickgand@rambler.ru); Герасимова Екатерина Сергеевна (gerasimova\_k00@mail.ru); Боташев Роберт Алибекович (Robert2012\_Botashhev@mail.ru); Цороева Лилита Мовлиевна (Tsoroeva912@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОСТОЯНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГУМОРАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ В КРОВИ У ПАЦИЕНТОВ В ПАТОГЕНЕЗЕ ХРОНИЧЕСКОГО ГЕНЕРАЛИЗОВАННОГО ПАРОДОНТИТА НА ФОНЕ ИНСУЛИНОЗАВИСИМОГО САХАРНОГО ДИАБЕТА

THE STATE OF HUMORAL PROTECTION  
IN THE BLOOD OF PATIENTS  
IN THE PATHOGENESIS OF CHRONIC  
GENERALIZED PERIODONTITIS AGAINST  
THE BACKGROUND OF INSULIN-  
DEPENDENT DIABETES MELLITUS

V. Zabrodnyaya  
O. Trunova  
I. Tchaikovskaya

*Summary.* In the course of the study, the state of humoral protection indicators in the blood (IgA, IgM, IgG, IL-4) was studied in practically healthy people, patients with chronic generalized periodontitis without insulin-dependent diabetes mellitus (IDD), and patients with chronic generalized periodontitis (CGP) on the background of IDD, laboratory research methods were conducted to determine the concentration of immunoglobulins A, M, G, IL-4 in the blood serum of the entire contingent of the examined, also, factors affecting the concentration of immunoglobulins, interleukin in the blood were established.

*Keywords:* immunity, insulin-dependent diabetes mellitus, periodontitis.

В последние годы благодаря быстрому развитию клинической иммунологии внимание исследователей привлекли иммунологические аспекты заболевания пародонта. Нарушение целостности тканей пародонта в механизмах пародонтита стали относиться к иммуноопосредованным заболеваниям [1,2,3]. Имеется достаточно сведений о том, что хронический пародонтит протекает на фоне измененного иммунного статуса организма [4,5]. Большинство исследователей отмечают, что данные об иммунологической резистентности организма больных пародонтитом крайне разнообразны и противоречивы [6,7,8,9]. Это объясняется разным подходом к выбору способов оценки иммунного статуса, а также зависимостью его от различных факторов: степени тяжести, фазы заболевания, возраста, фоновой патологии и генетической предрасположенности, типа воспалительной реакции и ряда других обстоятельств [10,11,12]. В связи с тем, что в патогенезе пародонтита на фоне ИЗСД происходят изменения не только на уровне местного иммунитета, но и гуморального, целью данного исследования явилось изучение показателей

**Забродняя Виктория Константиновна**  
Соискатель, Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького  
v.zabrodnyaya@mail.ru

**Трунова Ольга Арнольдовна**  
Доктор медицинских наук, профессор,  
Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького  
olgatrunov@yandex.ru

**Чайковская Илона Владиславовна**  
Доктор медицинских наук, профессор,  
Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького»  
anna.lukashuk@mail.ru

*Аннотация.* В ходе исследования изучено состояние показателей гуморальной защиты в крови (IgA, IgM, IgG, IL-4) у практически здоровых людей, пациентов с хроническим генерализованным пародонтитом без инсулинозависимого сахарного диабета (ИЗСД), и больных с хроническим генерализованным пародонтитом (ХГП) на фоне ИЗСД, проведены лабораторные методы исследования с целью определения концентрации иммуноглобулинов А, М, G, IL-4 в сыворотке крови у всего контингента обследованных, также, установлены факторы, влияющие на концентрацию в крови иммуноглобулинов, интерлейкина.

*Ключевые слова:* иммунитет, инсулинозависимый сахарный диабет, пародонтит.

гуморального звена иммунитета IgA, IgM, IgG, IL-4 в крови. В ходе выполнения работы было обследовано 135 человек (табл.1), в возрасте от 20 до 55 лет (в среднем  $39,8 \pm 1,3$  лет) (табл. 1).

Таблица 1.

Распределение пациентов по группам сравнения  
(абс., %  $\pm$  m)

Наименование групп	Количество пациентов	Распределение по полу	
		Женщины (абс., % $\pm$ m)	Мужчины (абс., % $\pm$ m)
I группа (основная) — ХГП с СД	60	38 (63,3 $\pm$ 6,2)	22 (36,7 $\pm$ 6,2)
II группа (сравнения) — ХГП без СД	30	23 (76,7 $\pm$ 7,7)	7 (23,3 $\pm$ 7,7)
III группа (контрольная)	45	31 (68,9 $\pm$ 6,9)	14 (31,1 $\pm$ 6,9)
Всего:	135	92 (68,1 $\pm$ 4,0)	43 (31,9 $\pm$ 4,0)

*Источник:* Составлено автором

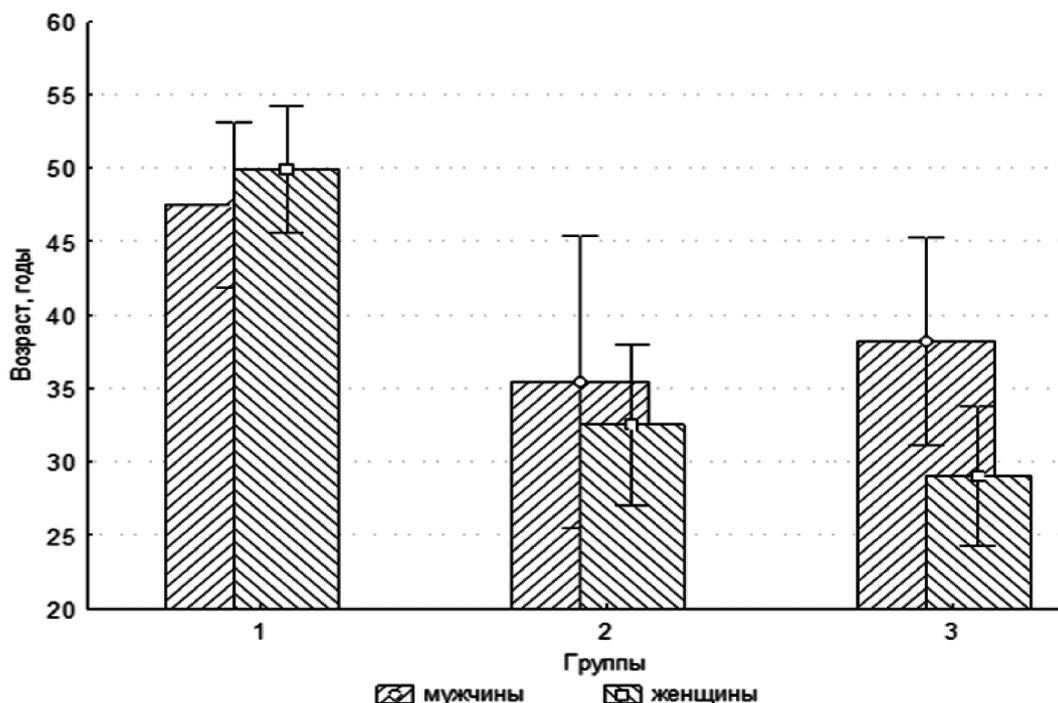
В соответствии с поставленной целью исследования все обследованные пациенты были распределены на три группы: **I группа — основная** — представлена 60 пациентами с ХГП II степени тяжести на фоне ИЗСД, которая была разделена на 2 равнозначные, рандомизированные подгруппы: **II группа — сравнения** — 30 пациентов с ХГП II степени тяжести без ИЗСД. **III группа — контрольная**, представлена 45 практически здоровыми людьми без клинических проявлений патологических изменений в тканях пародонта, не имеющих признаков ИЗСД. Изучая возрастной ценз обследованных пациентов от 20 до 55 лет (рис. 1), установили, что в среднем для мужчин и женщин I группы он составил  $(38,2 \pm 3,6 \%)$  лет и  $(29 \pm 2,4 \%)$  лет соответственно. Для обследованных пациентов II группы средний возраст в мужской категории составил  $(35,4 \pm 5 \%)$  лет, а женщин  $(32,5 \pm 2,8 \%)$  лет. В I (основной) группе контингент мужской половины составил  $(47,5 \pm 2,8 \%)$  лет, а у женщин  $(49,9 \pm 2,2 \%)$  лет.

Каждый участник подписывал соглашение на добровольное участие в исследовании, был проинформирован с методикой проведения забора материала и всеми нюансами при проведении исследования. На каждого обследуемого заполнялась амбулаторная карта стоматологического больного (форма № 043/0) и иммунологическая карта обследования пациента. Диагноз ХГП устанавливался согласно терминологии и классификации МКБ-10: Хронический генерализованный пародонтит (K05.31).

Критериями включения в исследование являлось наличие признаков генерализованного пародонтита на ос-

новании данных клинического и рентгенологического исследований и показателей, отражающих наличие ИЗСД, которые были диагностированы эндокринологами и терапевтами. При этом ИЗСД считался достоверным при наличии таких показателей иммунного статуса как лактоферрин — 1753 нг/мл, sIgA — 115 мг/мл, IL-1 $\beta$  — 396,9 пг/мл, и в крови — IgA — 0,97 г/л, IgM — 15,5 г/л, IgG — 3,1 г/л, IL-4 — 1,5 пг/мл. Критериями исключения из исследования был установленный диагноз СД (почечная недостаточность, заболевания эндокринной системы, ССС, возраст пациентов).

Состояние иммунного статуса устанавливалось на основании изучения в крови показателей, отражающих иммунодефицит IgA, IgM, IgG, IL-4. Кровь для исследования забирали у пациентов натошак из локтевой вены с использованием одноразовых вакуумных систем типа «Vacutainer» без консерванта. Для получения сыворотки кровь центрифугировали в течение 30 минут на рефрижераторной центрифуге «К-23» (Германия) при 1500 g и температуре +4°C. Сыворотку сохраняли до исследования в пластиковых маркированных тубах типа «Eppendorf» при температуре 70°C. Определение гуморального звена иммунитета оценивалось на основании концентраций иммуноглобулинов А, М, G (IgA, IgM, IgG) и интерлейкина 4 (IL-4) в сыворотке крови, проводили наборами реактивов производства АО «Вектор-Бест» (Россия). Полученные данные были подвергнуты статистической обработке. Для предварительного анализа данных применялась авторская программа для «MedStat», для окончательного анализа и построения графических эле-



Источник: Составлено автором  
Рис. 1. Средний возраст пациентов в группах сравнения

ментов работы был использован универсальный пакет статистического анализа «Statistica 6.0». В ходе исследования выявлено, что в крови практически здоровых людей концентрации IgA, IgG, IgM и IL4 соответственно составляют 1,9±0,1 г/л, 12,3±0,1г/л, 1,7±0,1г/л, 2,4±0,1 пг/мл.

Анализ и оценка степени влияния пола и возраста на показатели гуморального иммунитета в крови у практически здоровых людей (см. табл. 2) не выявила статистически значимых различий ни по одному исследуемому показателю (p>0,05). Выполненный дисперсионный и регрессионный анализы (табл. 2) подтверждают сказанное по отношению к отдельным показателям (IgA, IgG, IgM, IL4).

Таблица 2.

Степень влияния пола и возраста на показатели гуморального иммунитета в крови у практически здоровых людей

Показатели, единицы измерения	Факторы			
	пол (мужской, женский)		возраст	
	F	p	F	p
IgA (г/л)	1,01	0,31	0,99	0,38
IgG (г/л)	0,03	0,86	0,9	0,39
IgM (г/л)	1,99	0,16	2,63	0,08
IL-4 (пг/мл)	0,1	0,48	0,67	0,51

Источник: Составлено автором

Примечание: F — значение критерия Фишера-Снедекора; p — уровень значимости критерия.

Анализ данных средних значений в крови здоровых людей установил (табл. 3) отсутствие гендерного фактора по показателям IgA, IgG и IL-4.

Таблица 3.

Показатели гуморального иммунитета в ротовой жидкости у практически здоровых людей разного пола (M±m)

Показатели, единицы измерения	Гендерный фактор		Уровень значимости отличия, p	
	мужчины (n=14)	женщины (n=31)	T	p
IgA (г/л)	1,9±0,1 (1,7–2,1)	20±0,1 (1,8–2,1)	0,70	0,488
IgG (г/л)	12,3±0,2 (11,9–12,8)	12,3±0,2 (11,9–12,7)	0,03	0,97
IgM (г/л)	1,3±0,1 (1–1,5)	18±0,1 (1,6–2,1)	3,80	<0,001
IL-4 (пг/мл)	2,6±0,1 (2,3–2,8)	2,4±0,1 (2,2–2,6)	1,15	0,256

Источник: Составлено автором

Примечание: T — значение критерия Стьюдента; p — уровень значимости критерия.

Однако при сравнении значений показателя IgM было выявлено, что у мужчин уровень показателя составлял 1,3±0,1 (95 %ДИ: 1,0–1,5) г/л и был статистически значимо ниже показателя у женщин (1,8±0,1 (95 %ДИ: 1,6–2,1) г/л) (p<0,001).

По данным (табл. 4), средние показатели гуморального иммунитета в крови у пациентов с ХГП на фоне ИЗСД отличались от показателей практически здоровых пациентов и пациентов с ХГП и соответственно составили IgA — 0,97±0,04 г/л, IgG — 15,5±0,1г/л, IgM — 3,1±0,1 г/л, IL-4 — 1,5±0,03 пг/мл. Наибольшее статистически значимое отличие составляет показатель IgA (p<0,01).

Таблица 4.

Факторы гуморального иммунитета в крови (M±m)

Показатели, единицы измерения	Группы обследованных		
	Здоровые (n=45)	ХГП (n=30)	ХГП+ИЗСД (n=60)
IgA (г/л)	1,9±0,1 (1,9–2,0)	1,4±0,2 (0,9–1,8)*	0,97±0,04 (0,9–1) *#
IgG (г/л)	12,3±0,1 (12–12,6)	15,6±0,1 (15,3–15,9) *	15,5±0,1 (15,3–15,8) *
IgM (г/л)	1,7±0,1 (1,5–1,9)	3,4±0,2 (3,0–3,7) *	3,1±0,1 (2,9–3,2) *
IL-4 (пг/мл)	2,4±0,1 (2,3–2,6)	1,5±0,1 (1,3–1,6) *	1,5±0,03 (1,5–1,6) *

Источник: Составлено автором

Примечание.

\* — различие средних с группой здоровых статистически значимо на уровне p<0,01;

# — различие средних с группой пациентов с ХГП статистически значимо на уровне p<0,01.

Как видно из табл. 2 и рис. 1, с возрастом у пациентов снижается концентрация IgA и IL-4 на фоне резкого увеличения уровня IgG и IgM. Так, если у лиц моложе 35 лет средние показатели IgA и IL-4 составляют 1,1±0,1 г/л и 1,6±0,1 пг/мл, у пациентов старше 50 лет — соответственно больше (p<0,01). Установлено, что продолжительность заболевания также привносит изменения в изученные показатели, но по данным статистической обработки они являются не столь существенными.

Таким образом, в патогенезе ХГП у пациентов ИЗСД имеет место дисбаланс показателей системы гуморального иммунитета, который проявляется гипоиммуноглобулинемией А и снижением концентрации IL-4 на фоне резкой гипериммуноглобулинемии G и M, что соотносится с возрастными изменениями и совпадает с данными других исследователей. Также проведенные исследования позволили выявить разнонаправленные изменения в системе гуморальной противобактериальной защиты при генерализованном пародонтите, усугубляющееся на фоне сахарного диабета.

Таблица 5.

Показатели гуморального иммунитета в крови пациентов с ХГП на фоне СД I типа в зависимости от их возраста и длительности заболевания (M±m)

Показатели, единицы измерения	Возраст больных (годы)		
	<35 (n=11)	От 36 до 50 (n=16)	>50 (n=33)
IgA (г/л)	1,1±0,1 (0,9–1,3)	1,0±0,1 (0,9–1,2)	0,8±0,1 (0,7–1,0) <sup>1</sup>
IgG (г/л)	14,7±0,3 (14,1–15,2)	15,7±0,2 (15,3–16,2) <sup>1</sup>	15,9±0,2 (15,5–16,3) <sup>1</sup>
IgM (г/л)	2,9±0,2 (2,6–3,3)	3,0±0,1 (2,8–3,3)	3,3±0,1 (3,0–3,5)
IL-4 (пг/мл)	1,6±0,1 (1,5–1,8)	1,5±0,1 (1,4–1,6)	1,4±0,04 (1,3–1,5) <sup>1</sup>
Показатели, единицы измерения	Длительность заболевания (годы)		
	<1	–5	>5
IgA (г/л)	0,9±0,2 (0,6–1,2)	1,1±0,1 (0,9–1,2)	1,0±0 (0,9–1,1)
IgG (г/л)	15,6±0,5 (14,7–16,6)	15,3±0,2 (15–15,7)	15,3±0,1 (15–15,6)
IgM (г/л)	3,2±0,3 (2,7–3,8)	2,9±0,1 (2,7–3,2)	3,0±0,1 (2,9–3,2)
IL-4 (пг/мл)	1,4±0,1 (1,2–1,6)	1,6±0 (1,5–1,7)	1,5±0,03 (1,4–1,6)

Источник: Составлено автором

Примечание. <sup>1</sup> — различие средних с возрастной группой (<35) статистически значимо на уровне p<0,01; <sup>2</sup> — различие средних с возрастной группой (35–50) статистически значимо на уровне p<0,01; <sup>3</sup> — различие средних с группой по длительности заболевания (менее 1 года) статистически значимо на уровне p<0,01; <sup>4</sup> — различие средних с группой по длительности заболевания (1–5 лет) статистически значимо на уровне p<0,01.

Источник: Составлено автором

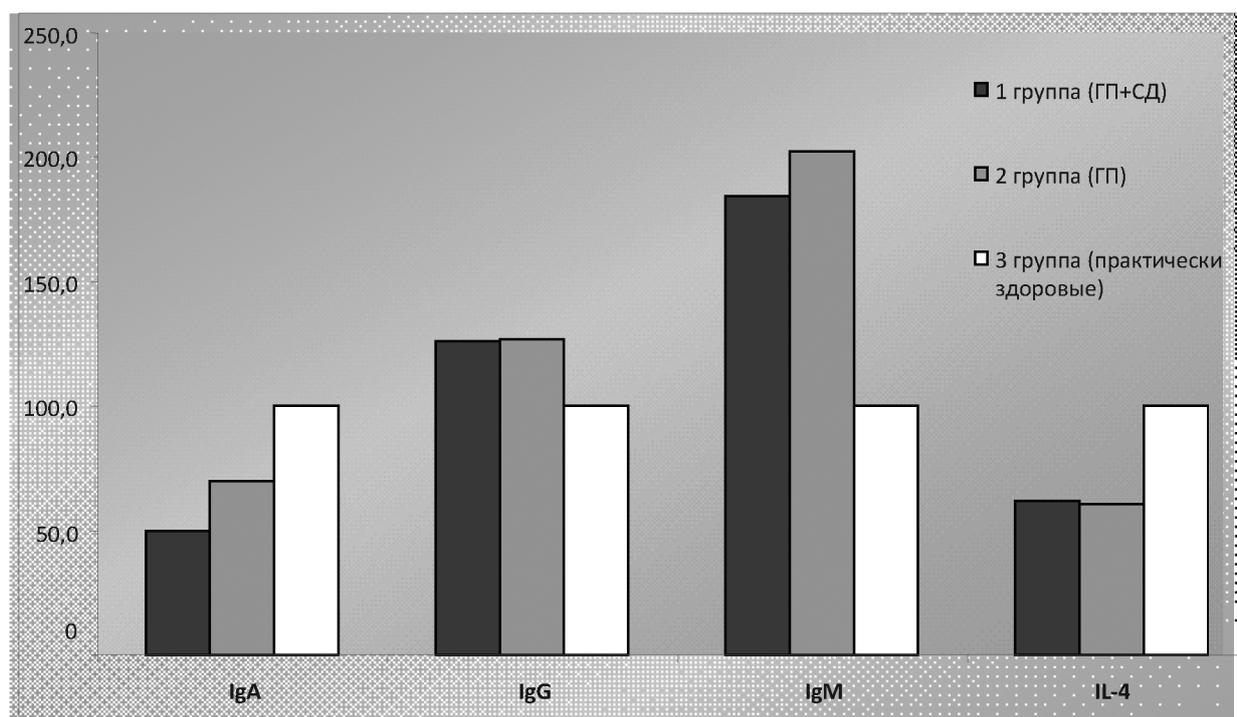


Рис. 2. Сопоставление уровней гуморальной защиты в крови у обследованных пациентов к показателям у практически здоровых людей, которые приняты за 100 %

## ЛИТЕРАТУРА

1. Малежик, М.С. Состояние гуморальных защитных систем при хроническом генерализованном пародонтите у людей пожилого возраста [Текст]: автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.03.03: защищена 29 июня 2010 г. /Малежик Маргарита Сергеевна; Читинская государственная медицинская академия Росздрава. — Чита, 2010. — 20 с.
2. Грудянов, А.И. Планирование лечебных мероприятий при воспалительных заболеваниях пародонта. Совместный доклад [Текст] / А.И. Грудянов, Л.Ю. Орехова, Л.А. Дмитриева // Стоматология сегодня. — 2007. — № 4 (64). — С. 20–29.
3. Петрова, Н.П. Изучение микрофлоры и некоторых биохимических показателей ротовой жидкости у детей и подростков, пользующихся съемными и несъемными ортодонтическими аппаратами [Текст] / Н.П. Петрова [и др.] // Диагностика и комплексное лечение при зубочелюстно-лицевых аномалиях, сочетающихся с врожденным несращением верхней губы, альвеолярного отростка, неба / под ред. Ф.Я. Хорошилкиной. — Санкт-Петербург, 2001. — С.228–237.
4. Gong, Y. Clinical, microbiologic, and immunologic factors of orthodontic treatment-induced gingival enlargement [Text] / Y. Gong, J. Lu, X. Ding // Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. — 2011. — Vol. 140, № 1. — P. 58–64.
5. Глухова, Ю.М. Клиническое обоснование диагностического и лечебного комплекса для больных с зубочелюстными аномалиями, осложненными заболеваниями пародонта [Текст] / Ю.М. Глухова, А.И. Кирютина // Институт стоматологии. — 2012. — № 1. — С. 62–64.
6. Оспанова, Г.Б. Технологии ортодонтического лечения в создании пространства здоровья как фактора качества жизни человека [Текст]: автореф. дис. ... доктора мед. наук: 14.00.21: защищена декабрь 2000 г. / Оспанова; Гульсара Бекеевна; Центральный научно-исследовательский институт стоматологии. — Москва, 2000. — 64 с.
7. Gemmell, E. Cellular adhesion molecules on periodontal lymphocytes [Text] / E. Gemmell, A.M. Sved, G.J. Seymour // Austr. Dent. J. — 1995. — Vol.40, № 2. — P. 129–134.
8. Кетлинский, С.А. Th-17 — новая линия дифференцировки Т-хелперов: обзор данных [Текст] / С.А. Кетлинский // Цитокины и воспаление. — 2009. — № 2. — С. 3–15.
9. Гризодуб, Е.В. Ортопедические мероприятия в комплексном лечении заболеваний тканей пародонта [Текст] / Е.В. Гризодуб // Укр. стоматологічний альманах. — 2006. — № 4. — С. 13–17.
10. Таминдарова, Р.Р. Обоснование использования мелоксикама в комплексном лечении хронического генерализованного пародонтита в стадии обострения [Текст] / Р.Р. Таминдарова, Г.И. Ронь, Л.И. Самигулина // Проблемы стоматологии. — 2017. — № 2. — С. 22–27.

© Забродняя Виктория Константиновна (v.zabrodnyaya@mail.ru); Трунова Ольга Арнольдовна (olgatrunov@yandex.ru);

Чайковская Илона Владиславовна (anna.lukashuk@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ КОМПЛЕКСНОГО ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ГЕНЕРАЛИЗОВАННОГО ПАРОДОНТИТА НА ФОНЕ ИНСУЛИНОЗАВИСИМОГО САХАРНОГО ДИАБЕТА

## POSSIBILITIES AND PROSPECTS OF COMPLEX TREATMENT OF CHRONIC GENERALIZED PERIODONTITIS AGAINST THE BACKGROUND OF INSULIN-DEPENDENT DIABETES MELLITUS

**V. Zabrodnyaya  
O. Trunova  
I. Tchaikovskaya**

*Summary.* The article considers a comprehensive approach to the treatment of chronic generalized periodontitis (CGP) in patients with insulin-dependent diabetes mellitus (IHD). The general scheme of complex therapy of CGP against the background of ISD is presented. Based on the scheme, the phases of periodontitis treatment are described. Developed, tested, implemented "Composition for the treatment of periodontal pockets in periodontal diseases in patients with diabetes mellitus", rationalization proposal No. 6233 dated 29.06.2018. The results were obtained before and after the treatment of patients with immunomodulatory drugs and the developed composition.

*Keywords:* immunity, insulin-dependent diabetes mellitus, periodontitis, complex treatment.

Изучение литературы по лечению пародонтита у больных сахарным диабетом показало, что большинство авторов сводят все методы специфического лечения больных к рациональной терапии, назначаемой эндокринологом, не принимая собственного участия в комплексном специфическом лечении этой патологии. Нет разработанной методики лечения больных пародонтитом при сахарном диабете с учетом специфического местного и общего лечения, что делает необходимым продолжение поиска схем рациональной терапии [1]. Лечебные мероприятия пародонтита у больных инсулинозависимым сахарным диабетом часто имеют низкую эффективность потому, что применяют стандартную схему лечения, не учитывая при этом специфику заболевания и перемены в полости рта, и патологических изменений, происходящих в организме пациента [2].

Тенденция тканей пародонта к гнойно-некротическим процессам и продуктивному воспалению у больных сахарным диабетом I типа, а также на фоне плохого гликемического контроля, обуславливает целесообразность проведения специфической иммунокорректирующей

**Забродняя Виктория Константиновна**  
Соискатель, Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького  
v.zabrodnyaya@mail.ru

**Трунова Ольга Арнольдовна**  
Доктор медицинских наук, профессор,  
Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького  
olgatrunov@yandex.ru

**Чайковская Илона Владиславовна**  
Доктор медицинских наук, профессор,  
Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького  
anna.lukashuk@mail.ru

*Аннотация.* В статье рассматривается комплексный подход лечения хронического генерализованного пародонтита (ХГП) у пациентов инсулинозависимым сахарным диабетом (ИЗСД). Представлена общая схема комплексной терапии ХГП на фоне ИЗСД. На основании схемы, описаны фазы лечения пародонтита. Разработан, апробирован, внедрен «Состав для лечения пародонтальных карманов при заболеваниях пародонта у больных сахарным диабетом», рационализаторское предложение № 6233 от 29.06.2018 г. Получены результаты до и после лечения пациентов иммуномодулирующими препаратами и разработанным составом.

*Ключевые слова:* иммунитет, инсулинозависимый сахарный диабет, пародонтит, комплексное лечение.

и антибактериальной терапии [3]. Цель исследования: показать эффективность предложенного лечения иммуномодулирующими препаратами и составом для лечения пародонтальных карманов при заболеваниях пародонта у больных сахарным диабетом, получить и проанализировать результаты до и после лечения.

*Общая схема комплексной терапии ХГП на фоне ИЗСД.* Комплекс воздействия на патологический процесс базировался на назначении:

1. Антимикробной терапии, которая была направлена на уменьшение количества и видового разнообразия пародонтопатогенных микроорганизмов, косвенно помогая восстановить эубиоз в пародонтальных карманах, тканях пародонта и полости рта в целом.
2. Противовоспалительной терапии, с целью восстановления дисбаланса цитокиновой сети.
3. Ортопедическом лечении, с целью устранения травматической окклюзии, стабилизации зубного ряда, восстановления целостности зубов и зубных рядов и равномерного распределения жевательной нагрузки на оставшийся зубной ряд.

4. Предложенной иммунокорректирующей терапии, с целью повышения неспецифической иммунной резистентности тканей ротовой полости и организма в целом.

Для улучшения микроциркуляции у пациентов с ХГП II степени тяжести на фоне СД I типа после ортопедического лечения проводили коррекцию показателей местного и общего иммунитета синтетическими иммуномодулирующими препаратами Полиоксидоний (сублингвально по 1 шт. каждые 12 часов т.е. 2 раза в сутки, курс лечения 10–12 дней) или Ликопид (в дозе 10 мг, per os, через день, курс лечения 10 дней). Данные препараты относятся к группе синтетических, способных воздействовать на активность клеток моноцитарно-макрофагальной системы, а также оказывать благоприятное влияние на клинико-рентгенологическую картину данной патологии.

5. Хирургическом лечении, с целью устранения пародонтальных карманов с использованием современных резорбируемых остеопластических материалов направленной регенерации костной ткани и пародонтальных структур для стабилизации патологического процесса.
6. Поддерживающей терапии, направленной на поддержание микробиоценоза полости рта всеми необходимыми веществами, а также обеспечения единства зубного ряда. На основании вышеописанной схемы представлена последовательность комплексного лечения:

*Фаза 1.* Обучение правилам гигиены полости рта и контроль гигиены (орошение антисептическими растворами, полное удаление зубных бляшек, наддесневых и поддесневых зубных отложений);

- устранение местных раздражающих факторов (замена или коррекция некачественных с нависающими краями пломб, заменой ортопедических конструкций, не соответствующих требованиям);
- избирательное шлифование зубов (устранение вторичной травматической окклюзии);
- местная противовоспалительная и антибактериальная терапия, проводилась до улучшения клинической картины и исчезновения жалоб, т.е. до устранения воспалительного процесса в тканях пародонта: отсутствия боли и отёка в десне, восстановления цветовой гаммы и рельефа десневого края, отсутствия кровоточивости дёсен.

Местная антимикробная терапия с помощью разработанного лечебного состава проводилась во время посещения врача-стоматолога, по схеме: полоскания полости рта 2 % раствором хлоргексидина биглюкана с последующим наложением на слизистую оболочку десны аппликации следующего состава: из кремний-органического сорбента получали 20 % гидрогелевый

раствор «Атоксил», который на 20 минут накладывали на десну. После сорбентотерапии, проводили инстилляцию в пародонтальные карманы ватных турунд, пропитанных лекарственной фитокомпозицией на основе спиртово-эфирного раствора прополиса, метронидазола, эфирного масла чайного дерева, эфирного масла сибирской пихты, пчелиного маточного молочка. После чего, врач-стоматолог давал практические рекомендации по уходу полости рта и проведении противовоспалительной и антибактериальной терапии в домашних условиях. Местная противовоспалительная и антибактериальная терапия, которая проводилась в домашних условиях: гель «Метрогил-дента», массажными движениями втирать в десна (2 раза в день, на ночь), после чистки зубов, ополаскивание полости рта раствором «Фитодент», (проводили до улучшения клинической картины и исчезновения жалоб, т.е. до отсутствия боли и отёка в десне, восстановления цветовой гаммы и рельефа десневого края, отсутствия кровоточивости дёсен).

Также назначалась витаминотерапия Квадевитом по 1 таблетке в день, на протяжении 1 месяца и остеотропная терапия Кальцемином по 1 таблетке 1 раз в день на протяжении 1 месяца, курс 3 раза в год (способствует повышению адаптационных и компенсаторных возможностей костной ткани, а также восстановлению соответствия структурной организации зубочелюстного комплекса, функциональной нагрузке путём стимулирования процессов регенерации). Системную антибиотикотерапию проводили (строго по показаниям, препараты назначали только после идентификации микрофлоры пародонтальных карманов (ПК), и определения ее чувствительности к антибиотикам). В ходе антибиотикотерапии использовали макролиды, карбопенемы, цефалоспорины и фторхинолоны. Их назначали в сочетании с антипротозойной группой (метронидазол по схеме) и приёмом пробиотиков.

Схема назначения метронидазола:

- 1–2-й день — по 0,25 г 4 раза в день;
- 3–4-й день — по 0,25 г 3 раза в день;
- 5–7-й день — по 0,25 г 2 раза в день.

*Источник:* составлено автором

По показаниям использовали физические методы лечения: электрофорез тетрациклина (окситетрациклина), диадинамотерапию, короткоимпульсную электроаналгезию, индуктотерапию, магнито- и лазеротерапию. Ортопедическое лечение, было направлено на устранение травматической окклюзии, избирательное шлифование, шинирование подвижных зубов с использованием лигатурной и стекловолоконной шин. По показаниям проводили ортодонтическое лечение, с целью восстановлению дефектов зубного ряда (включенных или концевых).

**Фаза 2.** Хирургическое лечение проводили согласно плану основного лечения, поэтапно. Обязательным условием перед операцией являлся тщательный контроль уровня глюкозы и общего состояния пациента. С целью восстановления структуры костной ткани использовали лоскутную операцию с одновременным внесением остеопластических материалов методом направленной тканевой регенерации [4].

**Фаза 3.** Для восстановления целостности зубных рядов проводилось рациональное протезирование с использованием шин и шин-протезов ортопедами-стоматологами [5].

**Фаза 4.** Поддерживающая терапия (профессиональная гигиена полости рта минимум 2 раза в год или больше в зависимости от состояния тканей пародонта). По разработанной схеме комплексной терапии проведено лечение 60 пациентов с ХГП II степени тяжести на фоне СД I типа, распределенных на 2 рандомизированные группы: I (A) подгруппа (основная), которая представлена 30 пациентами и I (B) подгруппа (контрольная), в которую также вошли 30 пациентов. I (A) подгруппа подвергалась специализированному лечению по предложенной авторской методике, I (B) подгруппа — традиционному общепринятому лечению. Результаты проведенного комплексного лечения по разным методикам оценивались на основании клинико-лабораторных исследований, проведенных до лечения, после, а также через 6 и 12 месяцев. В данной статье, мы предоставим результаты до и после лечения. В таблице 1 представлены данные о состоянии клинических методов исследования у пациентов с ХГП II степени тяжести на фоне СД I типа.

Повторное обследование после лечения выявило различия в основной группе: показатель Грина-Вермильона снизился до  $0,64 \pm 0,02$  (95 %ДИ:0,59–0,69), индекс Фёдорова-Володкиной до  $1,35 \pm 0,03$  (95 %ДИ:1,29–1,41),

сокращались абсолютные числа, характеризующие распространенность и интенсивность глубины пародонтальных карманов: РМА равнялся  $21,28 \pm 0,79$  (95 %ДИ:19,67–22,89), индекс Рассела —  $0,3 \pm 0,01$  (95 %ДИ:0,27–0,33), проба Кулаженко достигала  $57,57 \pm 0,44$  (95 %ДИ:56,66–58,47). В контрольной группе показатели также претерпели изменения, но достоверно отличались от основной группы: показатель Грина-Вермильона в основной группе был достоверно на  $16,9 \pm 13,5$  % ниже, чем в контрольной ( $p < 0,05$ ); индекс РМА был ниже в основной группе, чем в контрольной на  $32,5 \pm 8,4$  % ( $p < 0,05$ ), а индекс Рассела — ниже на  $65,9 \pm 5,1$  % ( $p < 0,01$ ), проба Кулаженко в основной группе была выше на  $7,6 \pm 3,5$  % ( $p < 0,05$ ). Имеется достаточно сведений о том, что хронический пародонтит протекает на фоне измененного иммунного статуса организма [6,7]. Большинство исследователей отмечают, что данные об иммунологической резистентности организма больных пародонтитом крайне разнообразны и противоречивы [8]. Это объясняется разным подходом к выбору способов оценки иммунного статуса, а также зависимостью его от степени тяжести, фазы заболевания, возраста, фоновой патологии и генетической предрасположенности, типа воспалительной реакции и ряда других обстоятельств [9]. Исходя из вышесказанного, дополнительно изучили состояние показателей местного иммунитета в ротовой жидкости (РЖ) до и после лечения, которое позволило выявить особенности изменений у пациентов с ХГП на фоне СД I типа в двух подгруппах. В таблице 2 представлены результаты показателей местного иммунитета у больных основной и контрольной групп до и после комплексного лечения.

Данные этой таблицы свидетельствуют, что в группах наблюдалось изменение уровня показателей как в I (A) подгруппе, так и I (B) подгруппе: так уровень IL-1 в I (A) подгруппе достоверно снизился с  $396,9 \pm 2,99$  (95 %ДИ:390,8–403,0) пг/мл до  $194,5 \pm 6,19$  (95 %ДИ:181,9–207,2) пг/мл ( $p < 0,05$ ), причем значение

Таблица 1.

Состояние тканей пародонта у пациентов СД I типа с ХГП основной и контрольной групп до и после комплексного лечения  $M \pm m(95\%ДИ)$ .

Клинические показатели	I (A) подгруппа (n = 30)		I (B) подгруппа (n = 30)	
	До лечения	После лечения	До лечения	После лечения
Показатель Грина-Вермильона	$2,86 \pm 0,04$ (2,77–2,95)	$0,64 \pm 0,02$ (0,59–0,69)*#	$2,97 \pm 0,04$ (2,89–3,05)	$0,77 \pm 0,03$ (0,7–0,84)*
Индекс Фёдорова-Володкиной	$2,96 \pm 0,2$ (2,55–3,37)	$1,35 \pm 0,03$ (1,29–1,41)*	$3,25 \pm 0,21$ (2,82–3,69)	$1,32 \pm 0,02$ (1,27–1,37)*
Индекс РМА	$54,33 \pm 0,64$ (53,02–55,65)	$21,28 \pm 0,79$ (19,67–22,89)*#	$55,0 \pm 0,65$ (53,68–56,32)	$31,68 \pm 0,79$ (30,06–33,3)*
Индекс Рассела	$4,86 \pm 0,13$ (4,60–5,13)	$0,3 \pm 0,01$ (0,27–0,33)*#	$4,73 \pm 0,19$ (4,33–5,12)	$0,88 \pm 0,03$ (0,81–0,95)*
Проба Кулаженко	$25,87 \pm 1,89$ (22,01–29,73)	$57,57 \pm 0,44$ (56,66–58,47)*#	$21,67 \pm 1,49$ (18,63–24,71)	$53,17 \pm 0,38$ (52,39–53,94)*

Источник: составлено автором

Примечание: \* — отмечены показатели, для которых выявлены статистически значимые отличия на уровне  $p < 0,05$  в группах до и после лечения; # — отмечены показатели, для которых выявлены статистически значимые отличия на уровне  $p < 0,05$  с контрольной группой после лечения.

Таблица 2.

Динамика показателей местного иммунитета ротовой жидкости у пациентов с ХГП II степени тяжести на фоне СД I типа после комплексного лечения  $M \pm m(95 \% \text{ДИ})$

Клинические показатели	I (A) подгруппа (n = 30)		I (B) подгруппа (n = 30)	
	До лечения	После лечения	До лечения	После лечения
IL-1 $\beta$ (пг/мл)	396,9 $\pm$ 2,99 (390,8–403)	194,5 $\pm$ 6,19 (181,9–207,2)*#	357,6 $\pm$ 15,81 (325,3–390)	258,8 $\pm$ 16,59 (224,9–292,7)*
SigA (мг/мл)	114,4 $\pm$ 2,28 (109,7–119,1)	204,2 $\pm$ 3,3 (197,4–210,9)*#	115,5 $\pm$ 2,26 (110,9–120,1)	185,6 $\pm$ 4,09 (177,2–193,9)*
Лактоферрин (нг/мл)	1528 $\pm$ 16,2 (1495–1561)	858,7 $\pm$ 32,09 (793,1–924,3)*#	1544 $\pm$ 13,44 (1516–1571)	1045 $\pm$ 25,37 (993,2–1097)*

Источник: составлено автором

Примечание: \* — отмечены показатели, для которых выявлены статистически значимые отличия на уровне  $p < 0,05$  в группах до и после лечения; # — отмечены показатели, для которых выявлены статистически значимые отличия на уровне  $p < 0,01$  с контрольной группой после лечения.

Таблица 3.

Оценка эффективности лечения пациентов с ХГП II степени тяжести на фоне СД I типа после комплексного лечения

Подгруппы	Всего	Эффективность лечения					
		незначительное улучшение		улучшение		значительное улучшение	
		абс.	% $\pm$ m%	абс.	% $\pm$ m%	абс.	% $\pm$ m%
I (A) подгруппа	30	4	13,3 $\pm$ 6,2	11	36,7 $\pm$ 8,8	15	50,0 $\pm$ 9,1
I (B) подгруппа	30	14	46,7 $\pm$ 9,1	6	20,0 $\pm$ 7,3	10	33,3 $\pm$ 8,6
Итого	60	18	30,0 $\pm$ 5,9	17	28,3 $\pm$ 5,8	25	25,0 $\pm$ 5,6

Источник: составлено автором

IL-1 было статистически значимо ниже на 24,8 $\pm$ 2,7 %, чем в I (B) подгруппе.

Уровень SigA после лечения в I (A) подгруппе принимал значение 204,2 $\pm$ 3,3(95 %ДИ:197,4–210,9) мг/мл, что было достоверно выше на 9,3 $\pm$ 2,0 %, чем в I (B) подгруппе (185,6 $\pm$ 4,09 (95 %ДИ:177,2–193,9) мг/мл) ( $p < 0,05$ ). Уровень лактоферрина после лечения в I (A) подгруппе составлял 858,7 $\pm$ 32,09 (95 %ДИ: 793,1–924,3) нг/мл, что было достоверно ниже на 17,9 $\pm$ 1,2 %, чем в I (B) подгруппе.

В таблице 3 представлены результаты эффективности лечения в двух подгруппах после комплексного лечения.

Таким образом, использование в комплексе лечебных мероприятий состава для лечения ПК, иммуномодулирующих препаратов Полиоксидония или Ликопида, способствует снижению воспалительного процесса в тканях пародонтального комплекса, что подтверждается достоверным различием изученных клинических индексов и проб у данной категории больных основной группы.

Подводя итоги оценки эффективности результатов комплексного лечения у больных ХГП после лечения

было установлено, что в I (A) подгруппе отмечалось «улучшение» и «значительное улучшение» результатов лечебных мероприятий, что составило в среднем 86,7 $\pm$ 6,2 %, а «незначительное улучшение» — в 13,3 $\pm$ 6,2 % случаев (табл.3).

В I (B) подгруппе отмечены результаты хуже, поскольку «значительное улучшение» зафиксировано лишь в 53,3 $\pm$ 9,1 %, а «незначительное улучшение» в 46,7 $\pm$ 9,1 % случаев. Здесь можно говорить о статистически значимом более высоком эффекте выбранного лечения в I (A) подгруппе ( $p = 0,016$ ).

Абсолютный риск формирования «незначительного улучшения» после лечения в I (A) подгруппе составил 13,3 % (95 % ДИ: 3,5 %–28,3 %), а в I (B) подгруппе — 46,7 % (95 %ДИ:28,7 %–65,1 %) ( $p = 0,011$ ). Отношение рисков формирования «незначительного улучшения» после лечения в I (A) подгруппе к I (B) подгруппе составило 3,5(95 %ДИ:1,30–9,41)( $p = 0,05$ ), т.е. в среднем в 3,5 раза реже в I (A) подгруппе наблюдается низкий эффект лечебного воздействия через 1 месяц от начала лечения с применением новой методики.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Связь заболеваний пародонта с сахарным диабетом [Электронный ресурс] // Здоровье и образ жизни. — Режим доступа: <http://sostinas.com/povoe-v-medicine/svyaz-zabolevanij-parodonta-ssaharnym-diabetom>, свободный (дата обращения: 10.10.2022)
2. Волинская, Т.Б. Ручной скейлинг как основной метод комплексного лечения генерализованного пародонтита (фаза 1) [Текст] / Т.Б. Волинская // Современная стоматология. — 2012. — № 2. — С. 44–49.
3. Цепов, Л.М. Диагностика, лечение и профилактика заболеваний пародонта [Текст] / Л.М. Цепов, А.И. Николаев, Е.А. Михеева. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: МЕДпресс-информ, 2008. — 272 с.
4. Остеопластические материалы в стоматологии: прошлое, настоящее, будущее [Текст] / А.В. Павленко [и др.] // Дента Бліц. — 2008. — № 5 (26). — С. 17–23.
5. Гризодуб, Е.В. Ортопедические мероприятия в комплексном лечении заболеваний тканей пародонта [Текст] / Е.В. Гризодуб // Укр. стоматологічний альманах. — 2006. — № 4. — С. 13–17.
6. Петрова, Н.П. Изучение микрофлоры и некоторых биохимических показателей ротовой жидкости у детей и подростков, пользующихся съемными и несъемными ортодонтическими аппаратами [Текст] / Н.П. Петрова [и др.] // Диагностика и комплексное лечение при зубочелюстно-лицевых аномалиях, сочетающихся с в рожденным не сращением верхней губы, альвеолярного отростка, неба / под ред. Ф.Я. Хорошилкиной. — Санкт-Петербург, 2001. — С. 228–237.
7. Gong, Y. Clinical, microbiologic, and immunologic factors of orthodontic treatment-induced gingival enlargement [Text] / Y. Gong, J. Lu, X. Ding // Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. — 2011. — Vol. 140, № 1. — P. 58–64.
8. Глухова, Ю.М. Клиническое обоснование диагностического и лечебного комплекса для больных с зубочелюстными аномалиями, осложненными заболеваниями пародонта [Текст] / Ю.М. Глухова, А.И. Кирютина // Институт стоматологии. — 2012. — № 1. — С. 62–64.
9. Оспанова, Г.Б. Технологии ортодонтического лечения в создании пространства здоровья как фактора качества жизни человека [Текст]: автореф. дис. . . . доктора мед. наук: 14.00.21: защищена декабрь 2000 г. / Оспанова; Гульсара Бекеевна; Центральный научно-исследовательский институт стоматологии. — Москва, 2000. — 64 с.

---

© Забродняя Виктория Константиновна ([v.zabrodnyaya@mail.ru](mailto:v.zabrodnyaya@mail.ru)); Трунова Ольга Арнольдовна ([olgatrunov@yandex.ru](mailto:olgatrunov@yandex.ru));  
Чайковская Илона Владиславовна ([anna.lukashuk@mail.ru](mailto:anna.lukashuk@mail.ru))

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МИНИИНВАЗИВНЫЕ ХИРУРГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ПОРТАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ У БОЛЬНЫХ ЦИРРОЗОМ ПЕЧЕНИ

## MINIMALLY INVASIVE SURGERY IN TREATMENT OF PORTAL HYPERTENSION IN PATIENTS WITH LIVER CIRRHOSIS

**R. Karpova  
K. Russkova  
I. Shchekoturov  
T. Nekrasova  
M. Zharkova**

*Summary.* This article presents the results of minimally invasive surgical treatment of portal hypertension, including stimulation of liver regeneration with cryoprecipitate. Data on the frequency of complications after combined surgical treatment of portal hypertension are presented. The paper presents the advantages of using percutaneous intrahepatic administration of cryoprecipitate under ultrasound control in combination with endoscopic and endovascular operations in the treatment of portal hypertension in patients with subcompensated and decompensated cirrhosis of the liver, which prevented the development of postoperative complications in most patients. This contributed to an increase in the duration and improvement of their quality of life.

*Keywords:* portal hypertension, minimally invasive surgery, liver cirrhosis, liver regeneration stimulation, cryoprecipitate.

**Карпова Радмила Владимировна**

Доктор медицинских наук, профессор, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)  
karpova\_r\_v@staff.sechenov.ru

**Русскова Ксения Сергеевна**

Аспирант, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)  
russkova.ksy@gmail.com

**Щекотуров Игорь Олегович**

Кандидат медицинских наук, ассистент, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)  
shchekoturov\_i\_o@staff.sechenov.ru

**Некрасова Татьяна Петровна**

Кандидат медицинских наук, доцент, Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)  
nekrasova\_t\_p@staff.sechenov.ru

**Жаркова Мария Сергеевна**

Кандидат медицинских наук, врач гастроэнтеролог-гепатолог, заведующая отделением гепатологии Клиники пропедевтики внутренних болезней, гастроэнтерологии и гепатологии им. В.Х. Василенко Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет)  
zharkova\_m\_s@staff.sechenov.ru

*Аннотация.* В данной статье представлены результаты малоинвазивного хирургического лечения портальной гипертензии, включающего стимуляцию регенерации печени криопреципитатом. Приводятся данные о частоте развития осложнений после комбинированного хирургического лечения портальной гипертензии. В работе представлены преимущества применения чрескожного внутривенного введения криопреципитата под контролем УЗИ в сочетании с эндоскопическими и эндоваскулярными операциями в лечении портальной гипертензии у больных субкомпенсированным и декомпенсированным циррозом печени, которое позволило предотвратить развитие послеоперационных осложнений у большинства пациентов. Это способствовало увеличению продолжительности и улучшению качества их жизни.

*Ключевые слова:* портальная гипертензия, малоинвазивная хирургия, стимуляция регенерации печени, криопреципитат.

### Введение

Проблема хирургического лечения портальной гипертензии остается актуальной на протяжении многих лет. Высокий уровень летальности больных при развитии пищеводно-желудочных кровотечений побуждает клиницистов к поиску новых методов лечения. Широкое применение получили шунтирующие операции, которые значительно улучшают портальный кровоток, однако при терминальном поражении печени их выполнение практически невозможно [1,2]. Се-

годня малоинвазивные хирургические вмешательства являются методом выбора при лечении портальной гипертензии у больных декомпенсированным циррозом в связи с меньшей хирургической и анестезиологической агрессией, низким риском развития операционных осложнений. Активно применяют эндоваскулярные методы лечения, их комбинации и сочетание с эндоскопическим лигированием и склерозированием варикозно расширенных вен пищевода (ВРВП) [3,4]. В ряде случаев это позволяет добиться компенсации портальной гипертензии и повышения выживаемости больных циррозом

печени [5]. Однако, не один из перечисленных методов не способен решить проблему прогрессирования печеночной недостаточности, которая неизбежно приводит к летальному исходу.

Доказано, что чрескожное введение криопреципитата в ткань цирротической печени под контролем УЗИ стимулирует упорядоченную регенерацию с формированием балочного строения гепатоцитов и образованием синусоидов. Криопреципитат оказывает выраженный противовоспалительный и иммуномодулирующий эффект, стимулирует репаративную регенерацию и приводит к восстановлению белково-синтетической функции печени у больных компенсированным и декомпенсированным циррозом. Это улучшает коагуляционные свойства крови, микроциркуляцию печеночной ткани и портальный кровоток, за счет чего снижает портальную гипертензию [6,7]. В литературе описаны единичные исследования, посвященные выполнению декомпрессивных хирургических вмешательств в сочетании с различными методиками стимуляции регенерации печени при циррозе [8,9]. Не было изучено применение чрескожного внутрипеченочного введения криопреципитата под контролем УЗИ совместно с миниинвазивным хирургическим лечением портальной гипертензии у больных циррозом, что послужило основанием для проведения настоящей работы.

*Цель исследования* — изучить результаты миниинвазивного хирургического лечения портальной гипертензии у больных циррозом печени, включающего стимуляцию регенерации печени криопреципитатом.

#### Материалы и методы

В исследование включено 29 больных циррозом печени класса В и С по Child-Pugh, осложненным портальной гипертензией, которые проходили лечение в Клинике факультетской хирургии им. НН. Бурденко УКБ №1 ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова с 2014 по 2022 г. Цирроз печени класса В диагностировали у 12 пациентов, класс С — у 17. Токсическое поражение печени было у 10 больных, цирроз в исходе вирусных гепатитов В и С — у 8, смешанный — у 11 больных. Среди них было 9 женщин и 20 мужчин. Средний возраст пациентов составил  $53 \pm 6,9$  года.

Исследование проведено в соответствии с декларацией, принятой в Хельсинки в 1975 г. и одобрено Локальным этическим комитетом. Информированное добровольное согласие на участие в исследовании получено от каждого больного.

Всем больным для коррекции портальной гипертензии выполняли миниинвазивные (эндоваскулярные и эндоскопические) хирургические вмешательства:

трансъюгулярное внутрипеченочное портосистемное шунтирование (TIPS), эмболизацию селезеночной артерии, лигирование ВРВП, склерозирование ВРВП.

Совместно с проведенным хирургическим лечением всем больным ежегодно проводили стимуляцию регенерацию печени криопреципитатом по следующей методике.

Чрескожно под местной анестезией (Новокаин 0,5 % — 20 мл) под контролем УЗИ тонкими иглами 25–27 Gauge для спинномозговой пункции в точки, расположенные в правом подреберье по срединной, парастеральной, среднеключичной и передней подмышечной линиям в каждый сегмент печени вводили по 2 мл криопреципитата.

Криопреципитат содержит про- и противовоспалительные цитокины (IL 6, фактор некроза опухоли, фактор активации гепатоцитов, фибриноген, фибринстабилизирующий фактор XIII и др.), а также иммуномодуляторы (IL 2, IL1, IL 8, IL 4, спонт. интерферон и др.). Доказано, что при внутрипеченочном введении он стимулирует упорядоченную регенерацию печени с правильным балочным строением гепатоцитов и формированием синусоидов, за счет чего способствует улучшению кровотока в микроциркуляторном русле и системе воротной вены [8,9].

До и после хирургического лечения всеми больным выполняли комплексное клиничко-лабораторное и инструментальное исследование.

Лабораторное исследование включало общий, биохимический анализы крови, коагулограмму, тромбоэластографию, общий анализ мочи.

Инструментальные методы исследования включали эзофагогастродуоденоскопию (ЭГДС) и УЗИ органов брюшной полости.

Для оценки степени ВРВП использовали классификацию А.Г. Шерцингера, предложенную в 1968 г. [10]:

- I степень — диаметр вен 2–3 мм,
- II степень — диаметр вен 3–5 мм,
- III степень — диаметр вен > 5 мм.

При эндоскопическом исследовании обращали внимание на наличие «красных знаков» (красных точечных повреждений, вишнево-красных пятен, черно-коричневых пятен), которые служат неблагоприятным прогностическим признаком и говорят о высоком риске развития пищеводного кровотечения.

УЗИ органов брюшной полости проводили по стандартному протоколу, при этом оценивали такие признаки портальной гипертензии как наличие свободной

жидкости, размеры селезенки, диаметр воротной и селезеночной вен, скорость кровотока в них, функционирование порто-системных коллатералей.

### Результаты

При поступлении в клинику у 22 больных был диагностирован асцит, у 13 он поддавался консервативному лечению, у 9 больных применение диуретических препаратов в максимальных дозировках было не эффективно. Варикозное расширение вен пищевода II–III степени при ЭГДС выявили у всех больных, при этом у 18 из них эндоскопическая картина соответствовала высокому риску пищеводно-желудочного кровотечения (наличие «красных знаков», напряженные вариксы крупных размеров). Неоднократные эпизоды кровотечений в анамнезе были у 7 больных. Спленомегалию при ультразвуковом исследовании выявили у каждого больного, однако гиперспленизм, преимущественно за счет тромбоцитопении, развился у 7 больных, у 3 он сочетался с резистентным асцитом (Таблица 1).

Таблица 1.

Осложнения портальной гипертензии у больных циррозом печени

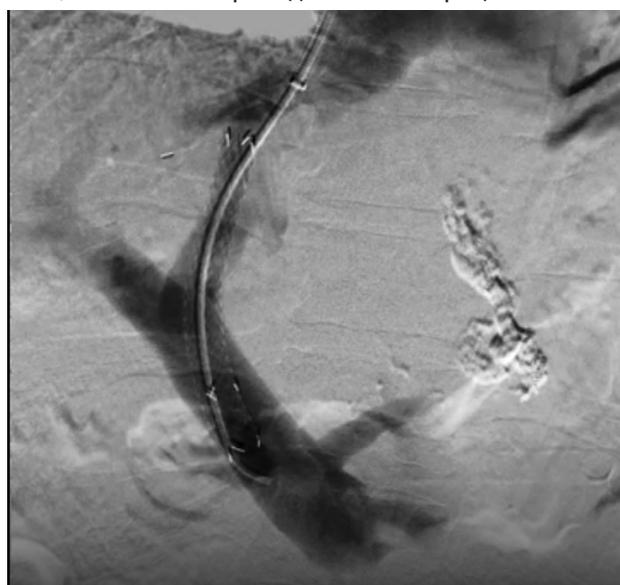
Осложнение цирроза печени	Количество больных
Диуретикорезистентный асцит	9
Гиперспленизм	12
ВРВП высокого риска кровотечения	18
Редивирующее кровотечение из ВРВП	7

Источник: составлено автором

Осложнения цирроза печени и портальной гипертензии, развившиеся у данных больных, обуславливали необходимость активной хирургической тактики, однако в связи с тяжестью состояния и высокими операционными рисками было принято решение воздержаться

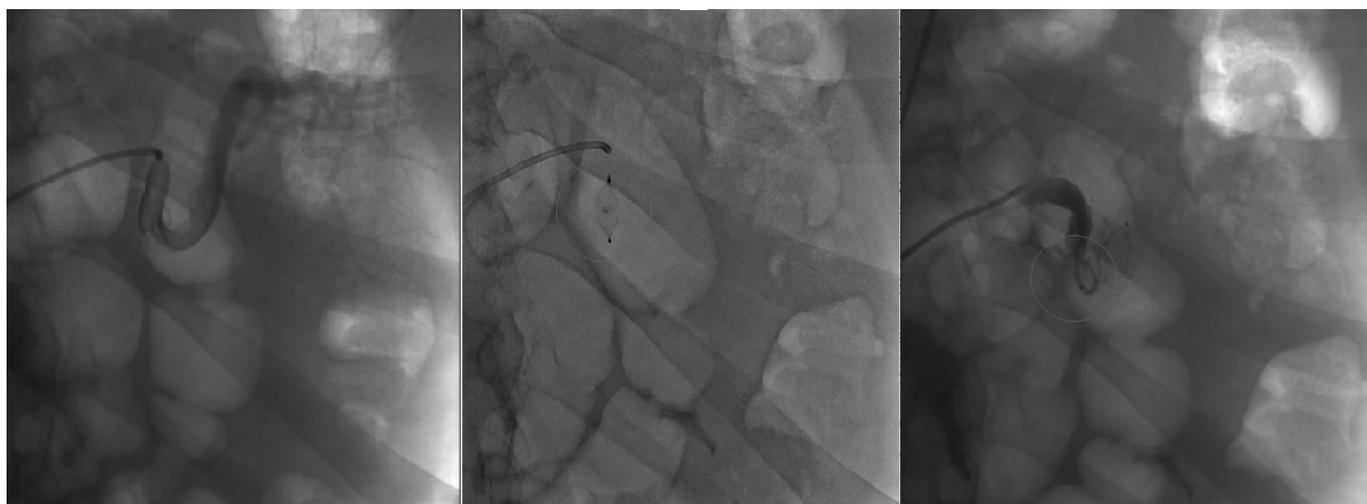
от открытых операций. Больным выполняли эндоваскулярные хирургические вмешательства, эндоскопическое лигирование и склерозирование ВРВП (Рисунок 1, 2). Всем 29 больным циррозом печени класса В и С по Child-Pugh совместно с миниинвазивными операциями проводили стимуляцию регенерации печени путем чрескожного внутripеченочного введения криопреципитата под контролем УЗИ. После этого больные были выписаны под динамическое наблюдение (Таблица 2).

На протяжении всего периода наблюдения больным ежегодно выполняли чрескожное внутripеченочное введение криопреципитата под контролем УЗИ для поддержания регенераторной активности печени, стабилизации состояния и уменьшения риска развития осложнений, связанных с проведенными операциями.



Источник: составлено автором

Рис. 1. Установленный TIPS у больного циррозом печени и портальной гипертензией



Источник: составлено автором

Рис. 2. Редукция селезеночного кровотока после ЭСА у больного циррозом печени

Таблица 2.

Миниинвазивные хирургические вмешательства у больных циррозом печени и портальной гипертензией

Хирургическое вмешательство	Количество больных (n=29)
Трансъюгулярное внутривенное портосистемное шунтирование (TIPS)	5 (17 %)
Эмболизация селезеночной артерии (ЭСА)	6 (21 %)
Лигирование ВРВП	9 (31 %)
Склерозирование ВРВП	4 (14 %)
TIPS + лигирование ВРВП	3 (10 %)
ЭСА + лигирование ВРВП	2 (7 %)

Источник: составлено автором

Результаты миниинвазивного хирургического лечения 29 больных циррозом печени и портальной гипертензией проанализированы на протяжении 5 лет. За этот период 2 больных вышло из-под наблюдения, 3 больных умерло. В оставшейся группе больных была проанализирована частота развития осложнений в отдаленном периоде (Таблица 3).

Таблица 3.

Отдаленные результаты миниинвазивного хирургического лечения портальной гипертензии у больных циррозом печени

Осложнение	Количество больных		
	Через 1 год (n=29)	Через 3 года (n=27)	Через 5 лет (n=24)
Рецидив асцита	4 (13 %)	1 (4 %)	1 (4 %)
Нарушение проходимости шунта после TIPS	3 (10 %)	2 (7 %)	—
Печеночная энцефалопатия	4 (13 %)	1 (4 %)	1 (4 %)
Прогрессирование печеночно-клеточной недостаточности	3 (10 %)	1 (4 %)	1 (4 %)
Рецидив ВРВП	5 (17 %)	2 (7 %)	—
Кровотечение из ВРВП	1 (3 %)	—	—

Источник: составлено автором

Проведенный анализ показал низкую частоту развития осложнений после миниинвазивного хирургического лечения, включающего стимуляцию регенерации печени криопреципитатом. Улучшение белково-синтетической функции печени и коагуляционных свойств крови после чрескожного введения криопреципитата способствовало нормализации кровотока по установленному стенту и препятствовало его дисфункции. Среди больных, у которых был диагностирован тромбоз

шунта, не отмечено рецидива асцита или кровотечения из ВРВП, поскольку стимуляция регенерации печени криопреципитатом привела к улучшению микроциркуляции цирротической печени и кровотока в портальной системе. Это позволило предотвратить усугубление тяжести состояния пациентов и портальной гипертензии. Гиперспленизм был компенсирован у всех больных, которым выполняли ЭСА и стимуляцию регенерации печени. У 3 больных класса С отмечено прогрессирование печеночно-клеточной недостаточности через 12 месяцев после лечения, однако ежегодное введение криопреципитата в ткань печени компенсировало их состояние. В отдаленном послеоперационном периоде ухудшение печеночной функции у 2 больных и рецидив асцита у 6 связаны с нарушением режима питания и образа жизни. Развившиеся осложнения были купированы консервативно в условиях стационара. Увеличение степени ВРВП после хирургического лечения отмечено у 7 пациентов, однако на фоне ежегодной стимуляции регенерации печени криопреципитатом и снижения портальной гипертензии количество таких больных значительно уменьшилось. Рецидив кровотечения из варикозно расширенных вен пищевода через год после комбинированного хирургического лечения развился у 5 больных, которое было остановлено консервативными мероприятиями. У остальных больных за 5-летний период наблюдения данное осложнение не наблюдали.

### Заключение

Настоящее исследование демонстрирует преимущества применения миниинвазивного хирургического метода стимуляции регенерации печени криопреципитатом в сочетании с эндоскопическими и эндоваскулярными операциями в лечении портальной гипертензии у больных суб- и декомпенсированным циррозом. По данным литературы, постшунтовая энцефалопатия и тромбоз стента после TIPS развивается у 60% и 40% больных соответственно [11]. Рецидив тромбоцитопении и асцита после эмболизации селезеночной артерии авторы наблюдают более чем у половины больных в послеоперационном периоде [12]. Повторные кровотечения, нарастание степени ВРВП после эндоскопического лигирования вен пищевода диагностируют у 50–70 % больных [10]. Чаще осложнения развиваются у больных декомпенсированным циррозом печени, поскольку истощение регенераторного потенциала приводит к прогрессированию заболевания и, как следствие, усугублению портальной гипертензии, несмотря на успешно выполненные хирургические вмешательства [1]. Проведенное исследование показало, что стимуляция регенерации печени криопреципитатом значительно улучшает результаты миниинвазивных операций. Так, характерные для TIPS осложнения послеоперационного периода развились не более чем у 10–13 % больных через год после лечения, рецидив асцита наблюдали у 13 % боль-

ных через год после операции, а через 3 и 5 лет их количество не превышало 4 %. Нарастание степени ВРВП отмечено у 17 % больных через 1 год после хирургического лечения, однако на фоне ежегодной стимуляции регенерации печени криопреципитатом и улучшения портального кровотока данное осложнение было компенсировано. Через 5 лет рецидива кровотечения и увеличения ВРВП у пациентов не было. Рецидив гиперспленизма в отдаленном периоде не наблюдали ни у одного больного.

Проведенное миниинвазивное хирургическое лечение в сочетании со стимуляцией регенерации печени криопреципитатом привело к снижению портальной гипертензии и компенсации состояния больных суб- и декомпенсированным циррозом, что позволило предотвратить развитие послеоперационных осложнений у большинства пациентов. Это способствовало увеличению продолжительности и улучшению качества их жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Светова, Э.В. Возможности помощи больным с циррозом печени, осложнённым портальной гипертензией (обзор литературы) / Э.В. Светова, Н.Г. Сапронова, И.И. Кательницкий // Медицинский вестник Юга России. — 2018. — Т. 9. — № 1. — С. 6–16.
2. Berzigotti, A. Advances and challenges in cirrhosis and portal hypertension / A. Berzigotti // BMC Medicine. — 2017. — Vol. 15. — № 1. — P. 200.
3. Мини-инвазивные способы лечения и профилактики пищеводно-желудочных кровотечений портального генеза / Б.Н. Котив, И.И. Дзидзава, С.А. Бугаев, И.Е. Онницев, С.А. Солдатов, С.А. Алентьев, А.В. Смородский, С.В. Шевцов, А.А. Джафаров // Анналы хирургической гепатологии. — 2022. — Т. 27. — № 2. — С. 48–57.
4. Роль рентгенэндоваскулярных вмешательств при нарушениях венозного оттока после ортотопической трансплантации печени / А.В. Моисеенко, А.А. Поликарпов, П.Г. Таразов, Д.А. Гранов. — Текст: непосредственный // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии: тезисы шестого российского съезда интервенционных кардиоангиологов. — Москва, 2017. — С. 48–49.
5. Cirrhotic portal hypertension: From pathophysiology to novel therapeutics / L.S. Gunarathne, N. Rajapaksha, N. Shackel [et al.] // World Journal of Gastroenterology. — 2020. — Vol. 26. — № 40. — P. 6111–6140.
6. Дифференцированное хирургическое лечение больных циррозом печени с портальной гипертензией. Часть II. Хирургическая агрессия и патогенез послеоперационных осложнений / Манукьян Г.В., Мусин Р.А., Манукьян В.Г. // Анналы хирургической гепатологии. 2015. — Т. 20. — № 2. С. 8–19.
7. Манукьян, Г.В. Патогенез, лечение и профилактика осложнений у больных циррозом печени и портальной гипертензией / Г.В. Манукьян, А.Г. Шерцингер, Л.Р. Амбарцумян // Анналы РНЦХ им. акад. Б. В. Петровского РАМН. — 2007. — С. 132.
8. Регенерация печени при циррозе под действием криопреципитата / А.Ф. Черноусов, Т.В. Хоробрых, Р.В. Карпова, К.И. Зенкова // Новости хирургии. — 2017. — Т. 25. — № 4. — С. 350–358.
9. Влияние чрескожного введения криопреципитата под контролем УЗИ на портальную гипертензию и коагуляционные свойства крови у больных циррозом печени / А.Ф. Черноусов, Р.В. Карпова, К.С. Русскова Т.П. Некрасова, М.С. Жаркова, И.О. Щекотуров // Вестник хирургической гастроэнтерологии. — 2023. — № 4. — С. 10–17.
10. Киценко, Е.А. Современное состояние проблемы кровотечений из варикозно-расширенных вен пищевода и желудка / Е.А. Киценко, А.Ю. Анисимов, А.И. Андреев Андрей Иванович // Вестник современной клинической медицины. — 2014. — №5. — С. 89–98.
11. Печеночная энцефалопатия у больных циррозом печени до и после TIPS/ И.И. Затевахин, М.Ш. Цициашвили, В.Н. Шиповский, Д.В. Монахов, А.В. Пан // Анналы хирургической гепатологии. — 2015. — Т. 20. — № 2. — С. 40–45.
12. Первый опыт частичной эмболизации селезенки для коррекции тромбоцитопении у больных циррозом печени / А.В. Шабунин, В.В. Бедин, П.А. Дроздов, О.Н. Левина, В.А. Цуркан, О.С. Журавель, С.А. Астапович // Анналы хирургической гепатологии. — 2021. — Т. 26. № 3. — С. 97–103.

© Карпова Радмила Владимировна (karpova\_r\_v@staff.sechenov.ru); Русскова Ксения Сергеевна (russkova.ksy@gmail.com); Щекотуров Игорь Олегович (shchekoturov\_i\_o@staff.sechenov.ru); Некрасова Татьяна Петровна (nekrasova\_t\_p@staff.sechenov.ru); Жаркова Мария Сергеевна (zharkova\_m\_s@staff.sechenov.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ПРОФИЛАКТИКИ ВЕНОЗНЫХ ТРОМБОЭМБОЛИЧЕСКИХ ОСЛОЖНЕНИЙ В ОНКОХИРУРГИИ

## PRINCIPLES AND CRITERIA FOR DIFFERENTIATED PREVENTION OF VENOUS THROMBOEMBOLIC COMPLICATIONS IN ONCOSURGERY

A. Karsanov  
S. Maskin  
V. Vakhotsky

**Summary.** The article presents the experience of using markers of the effectiveness of thromboprophylaxis in oncosurgical patients of moderate and high risk. At three stages of a long-term study, thrombinemia indicators were assessed in the development of distal and embolic deep vein thrombosis in the perioperative period. The data were confirmed that the incidence of proximal venous thrombosis was statistically significantly correlated with the development of fatal pulmonary embolism, which is reflected in the «embologenicity risk index». The experience gained was the basis for differentiated thromboprophylaxis in the third period of the study, which made it possible to increase the safety of the most high-risk category of oncosurgical patients.

**Keywords:** surgery, venous thromboembolic complications, pulmonary embolism, deep vein thrombosis, prevention of complications.

**Карсанов Алан Мухарбекович**

К.м.н., доцент, Северо-Осетинская государственная медицинская академия (г. Владикавказ)  
karsan@inbox.ru

**Маскин Сергей Сергеевич**

Д.м.н., профессор, Волгоградский государственный медицинский университет (г. Волгоград)  
maskins@bk.ru

**Вахоцкий Владимир Васильевич**

К.м.н., доцент, Северо-Осетинская государственная медицинская академия» (г. Владикавказ)  
sogta.rso@gmail.com

**Аннотация.** В статье представлен опыт использования маркеров эффективности тромбопрофилактики у онкохирургических пациентов умеренного и высокого риска. На трех этапах длительного исследования были оценены показатели тромбинемии при развитии дистальных и эмболоопасных тромбозов глубоких вен в периоперационном периоде. Были подтверждены данные, что частота развития проксимальных венозных статистически достоверно коррелировала с развитием фатальной тромбоземболии легочной артерии, что отражено в показателе «индекса риска эмбологенности». Полученный опыт был положен в основу дифференцированной тромбопрофилактики в третий период исследования, что позволило повысить безопасность наиболее высокорисковой категории онкохирургических пациентов.

**Ключевые слова:** хирургия, венозные тромбоземболические осложнения, эмболия легочной артерии, тромбоз глубоких вен, профилактика осложнений.

### Введение

**В** онкохирургии риск венозных тромбоземболических осложнений (ВТЭО), в том числе — фатальной тромбоземболии легочной артерии (ТЭЛА), многократно превышает вероятность подобных осложнений в элективной хирургии доброкачественных заболеваний органов пищеварительного тракта и иных локализаций [1, 2, 3]. Даже использование рутинной профилактики, не позволяет на практике полностью исключить вероятность возникновения послеоперационных ВТЭО и диктует необходимость поиска объективных критериев адекватности выбранной стратегии периоперационной тромбопрофилактики [3, 4, 5].

**Цель исследования:** определить объективные критерии адекватности выбранной стратегии периоперационной профилактики ВТЭО у онкохирургических больных и оптимизировать принципы дифференцированной профилактики этих грозных осложнений.

### Материалы и методы

Для определения оптимальной периоперационной стратегии профилактики ВТЭО были оценены результаты

хирургического лечения 4141 пациента с опухолями различных локализаций. Исследование проведено по типу случай-контроль, было многоцентровым, нерандомизированным, ретро- и проспективным. Пациенты были оперированы в Республиканском онкологическом диспансере Минздрава РСО-Алания и в Негосударственном учреждении здравоохранения «Узловая больница на ст. ВладикавказОАО «РЖД» в период с 1989 по 2022 гг. (табл. 1).

Таблица 1.

Общее число исследованных случаев лечения в разные периоды наблюдения

Период наблюдения	Число пациентов	
	Абс. (n)	%
I. (1989–2008 гг.)	2174	52,5 ± 0,8*
II. (2009–2016 гг.)	1053	25,4 ± 0,7*
III. (2017–2022 гг.)	914	22,1 ± 0,6*
<b>Итого:</b>	<b>4141</b>	<b>100</b>

\*  $p < 0,001$  по отношению к численности ниже расположенных групп.

В данной статье особенности проведения тромбопрофилактики в первый (ретроспективный) период обсуждаться не будут. Отметим лишь, что анализу были подвергнуты медицинские карты 2174 больных, получавших лечение в Республиканском онкологическом диспансере Минздрава РСО-Алания в 1989–2008 гг., по поводу рака желудка (РЖ), колоректального рака (КРР), рака молочной железы (РМЖ).

Второй период — «Период рутинной профилактики ВТЭО», был проспективным. 1053 пациента были распределены на две категории прогноза: категорию «А» — с умеренным риском ВТЭО (787 больных) и категорию «В» — с высоким риском ВТЭО (266 больных).

Для нивелирования фактора основного заболевания и характера операции, пациентки РМЖ составили первую подгруппу — 869 больных (82,5±1,2 %), а больные РЖ и КРР были определены во вторую подгруппу — 184 больных (17,5±1,2 %) ( $p < 0,05$ ) (табл. 2), со средним возрастом в подгруппах 61,4±0,4 г. и 64,5±0,7 г. соответственно ( $p < 0,05$ ).

Таблица 2.

Характеристика пациентов  
во второй период исследования

Категории прогноза	А	В	Всего
Подгруппа I — РМЖ	787 (90,6 %)	82 (9,4 %)	869 (100 %)
Подгруппа II — РЖ, КРР	—	184 (100 %)	184 (100 %)
Всего	787 (74,7 %)	266 (25,3 %)	1053 (100 %)

Третий период настоящего исследования также был проспективным и отражает опыт хирургического лечения 914 пациентов с РМЖ и дигестивными локализациями рака (табл. 3).

Таблица 3.

Характеристика пациентов  
в третий период исследования

Категории прогноза	А	В	Всего
Подгруппа I — РМЖ	521 (79 %)	139 (21 %)	660 (100 %)
Подгруппа II — РЖ, КРР	—	254 (100 %)	254 (100 %)
Всего	521 (57 %)	393 (43 %)	914 (100 %)

Кардинальное отличие между группами заключалось в качественном составе применяемого в разные периоды наблюдения, комплекса мер профилактики ВТЭО. Комплекс профилактики ВТЭО и контроль его эффективности были основаны на результатах, полученных во II периоде исследования. Для клинической оценки вероятности возникновения венозного тромбоза и селекции подгруппы пациентов, нуждающихся в пролонгировании антикоагулянтной профилактики до 30 суток послеоперационного периода был использован Индекс Wells [1, 3].

Полученные цифровые данные обрабатывались общепринятыми методами статистики. Статистический анализ был произведен на персональном компьютере с помощью программ Microsoft Access 7.0 и Microsoft Excel 7.0. Итоговые данные представлены в виде  $M \pm m$ , где  $M$  — средняя арифметическая выборочной совокупности,  $m$  — стандартная ошибка средней арифметической. При сравнении средних величин в различных группах использовали критерий Стьюдента. При каждом сравнении определяли достоверность различий ( $p$ ) по отношению к исходному либо отправному показателю. Различия в показателях считали статистически достоверными при  $p < 0,05$  и ниже.

### Результаты и обсуждение

Во второй период исследования — «Период рутинной профилактики ВТЭО» (1999–2006 гг.), 1053 пациента были распределены на две категории прогноза: категорию «А» — с умеренным риском ВТЭО (787 больных) и категорию «В» — с высоким риском ВТЭО (266 больных) и на две подгруппы. В первую подгруппу объединены пациентки РМЖ ( $n=869$ ), а вторая ( $n=184$ ), была сформирована из пациентов, оперированных по поводу РЖ и КРР.

Основной качественной характеристикой периоперационного ведения пациентов во II период наблюдения, было безусловное проведение комплексной антикоагулянтной профилактики низкомолекулярным гепарином (НМГ) Эноксапарином в дозе 20 мг и 40 мг в категориях умеренного и высокого риска ВТЭО соответственно. Первая инъекция НМГ выполнялась строго за 12 часов до операции, кроме случаев экстренной операции на высоте кровотечения из опухоли желудка. Всем больным проводился комплекс физической профилактики с применением компрессионного трикотажа.

Генеральным итогом проведения тромбопрофилактики 1053 пациентам во второй период исследования было то, что достигнуто снижение общей частота ВТЭО до 3,4±0,6 %, в том числе в категории пациентов с умеренным риском ВТЭО «А» до 3,2±0,6 %, а в категории больных с высоким риском аналогичных осложнений «В» — до 4,9±1,4 % (табл. 4).

Однако, несмотря на соблюдение всего комплекса рекомендуемых при рутинном подходе мер профилактики, общая частота возникших ВТЭО в двух категориях прогноза не имела статистических различий ( $p > 0,05$ ). При этом подобная закономерность была характерна для всех видов ВТЭО в обеих категориях прогноза. Это может быть рассмотрено в качестве положительного результата для пациентов из категории высокого риска, для которых подобный превентивный подход к безопасному хирургическому лечению основного заболевания, нивелирует повышенные, по сравнению с имевшимися у пациентов из категории «А», факторы риска ВТЭО.

Таблица 4.

Результаты профилактики ВТЭО во второй период исследования

Категории прогноза	Осложнения			Всего
	ТГВ голени	Проксимальный ВТ	Фатальная ТЭЛА	
«А» n = 787	21 (2,7±0,6 %)* <sup>а</sup>	3 (0,4±0,2 %) <sup>#а</sup>	1 (0,13±0,1 %) <sup>#а</sup>	25 (3,2±0,6 %) <sup>а</sup>
«В» n = 266	6 (2,2±0,9 %) <sup>#а</sup>	3 (1,1±0,6 %) <sup>#а</sup>	2 (0,75±0,5 %) <sup>#а</sup>	11 (4,9±1,4 %) <sup>а</sup>
Всего (n=1053)	27 (2,6±0,5 %)*	6 (0,6±0,23 %) <sup>#</sup>	3 (0,3±0,16 %) <sup>#</sup>	36 (3,4±0,6 %)

\* p<0,05 по отношению костальным показателям в строке;  
# p>0,05 при сравнении между выделенными показателями в строке;  
<sup>а</sup> p>0,05 при сравнении между выделенными показателями в столбце.

Дистальные венозные тромбозы развились у 2,6±0,5 % пациентов, получавших рутинную профилактику ВТЭО во второй период исследования. Этот показатель достоверно превышал частоту эмболоопасных проксимальных венозные тромбозы — 0,6±0,23 % (p<0,05), вероятность развития которых статистически достоверно коррелировала с развитием фатальной ТЭЛА 0,3±0,16 % (p>0,05). При чём, только среди пациентов с умеренным риском ВТЭО (категории «А»), дистальные тромбозы встречались достоверно чаще остальных видов тромботических осложнений, в то время как при высоком риске — вероятность развития всех трёх видов ВТЭО была равной (p>0,05).

Понимая, что основную угрозу жизни пациента несёт ТЭЛА, множество попыток предшествующих исследований, посвящённых изучению роли клинических и лабораторно выявляемых факторов, предрасполагающих к возникновению именно эмболоопасных форм острого венозного тромбоза, так и не увенчались успехом [1–3, 5]. По-прежнему, склонность тромбоза глубоких вен (ТГВ) к эмболизации определяется в большей степени местными, чем общими причинами.

Именно в связи с этими результатами, нами был проведён анализ по дополнительным показателям. Так при расчёте соотношения частоты дистальных и проксимальных венозные тромбозы оказалось, что интегральный показатель, определённый нами как условный «индекс риска эмбологенности» (ИРЭ) и вычисляемый как частное от соотношения относительных показателей проксимальных и дистальных ТГВ (ИРЭ = частота проксимального ТГВ (%) / частота дистального ТГВ (%)), у больных разных категорий прогноза имеет существенное отличие.

Если для пациентов из категории «А» ИРЭ = 0,15, то для группы больных с высоким риском ВТЭО, ИРЭ был в 3,5 раза выше и составил 0,52, что косвенно может свидетельствовать о более чем трёхкратно-превосходящем риске эмболии лёгочных артерий у пациентов категории «В» (рис. 1).

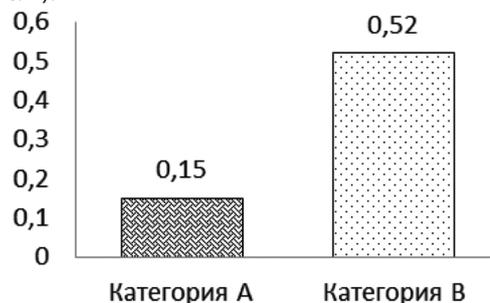


Рис. 1. Величина «индекса риска эмбологенности» для пациентов различных категорий прогноза во второй период исследования

Помимо стандартных показателей гемостазиограммы, с целью оценки возможности раннего выявления доклинических «предвестников» тромбоза глубоких вен, у 84 пациентов с гастроинтестинальными локализациями рака из категории высокого риска ВТЭО (категория «В»), было исходно запланировано и реализовано изучение ряда дополнительных гемостазиологических показателей в динамике: до операции и на 3, 5, 7, 10 сутки послеоперационного периода. В частности, были оценены: активированное частичное тромбопластиновое время и уровень растворимых фибрин-мономерных комплексов (РФМК-тест). При этом ВТЭО возникли у 9 пациентов.

Показатель теста РФМК начиная с 3-х суток закономерно возрос у пациентов, не имевших ВТЭО (p<0,05), однако в дальнейшем его уровень сохранялся без изменений, вплоть до последнего измерения (10-сутки). В группе сравнения, значение РФМК-теста к 3-м суткам имело схожие качественные характеристики, однако в последующем была выявлена прогрессивная динамика его роста с 13,2±0,1 мг/100 мл сыворотки крови с 5-х суток, до 25,1±1,5 мг/100 мл — к десятым суткам (p<0,001).

При межгрупповом сравнении установлено, что при манифестации либо развитии в последующем ВТЭО, начиная с 5-х суток достоверно возрос обсуждаемый показатель до 13,2±0,1 мг/100 мл, в сравнении с 9,3±0,1 мг/100 мл у пациентов, не имевших этих осложнений (p<0,001). При последующих измерениях эта тенденция только укреплялась. В целом же, для пациентов с высоким риском ВТЭО было характерно поступательное возрастание показателя РФМК, начиная с ближайшего послеоперационного периода, хотя эта тенденция была обеспечена за счёт результатов контроля маркера тромбинемии у пациентов, у которых возникли ВТЭО.

Для практического использования в большей степени может быть полезным относительный прирост (в процентах) показателя РФМК-теста по сравнению с его исходным значением у конкретного пациента. Для определения значимости динамики прироста обсуждаемого показателя (или темпа его роста) в качестве предиктора доклинической диагностики ВТЭО, ретроспективно был рассчитан посуточный прирост РФМК-теста у пациентов, у которых ВТЭО не возникли и в группе из 9 человек, имевших подобные осложнения (табл. 5).

Таблица 5.

Динамика прироста абсолютных показателей РФМК-теста в послеоперационном периоде у пациентов категории «В»

Подгруппы пациентов	До операции (мг/100мл)	Темп прироста от исходного показателя в %			
		3-сутки	5-сутки	7-сутки	10-сутки
без ВТЭО (n=75)	6,6±0,4	45,4	41	48,5	45,4
с ВТЭО (n=9)	6,8±0,5	32,3	94,1	239,7	269,1
Всего (n=84)	6,6±0,4	43,9	47	80,3	71,2

В результате: к 3-м суткам, независимо от факта последующего возникновения ВТЭО, показатель РФМК-теста возрос на 45,4 % у 75 больных без ВТЭО и на 32,3 % у 9 пациентов с ВТЭО, что не позволяет на этом этапе послеоперационного периода признать значимыми для прогноза ВТЭО какие-либо тенденции в динамике обсуждаемого показателя.

Начиная с 5-х суток после операции, в группе пациентов с возникшими ВТЭО показатель РФМК-теста продемонстрировал прирост в 94,1 % от исходного, в то время как в группе сравнения он был даже несколько ниже полученного при прежнем измерении (41 %), находясь в близком к статическому положении в течение всего периода его изучения. В то же время, у пациентов, имевших гиперкоагуляционные осложнения, был выявлен неуклонный и прогрессивный рост показателя РФМК-теста на протяжении дальнейшего периода наблюдения с достижением к 10-м суткам 269 % его роста от исходного значения, что можно отнести за счёт любого, возникшего к тому времени, тромбозомболического осложнения.

Таким образом, в качестве раннего предиктора возникновения ВТЭО, а следовательно — показателя неадекватности комплекса профилактики послеоперационных ВТЭО, РФМК-тест может рассматриваться при его 1,5-2-х кратном росте от исходного значения, что имело место только к пятым суткам после операции (от начала тромбопрофилактики). Меньший прирост его показателя, на фоне проводимой антикоагулянтной профилактики, не является отражением высокой угрозы ТГВ и ТЭЛА в последующем и не требует пересмотра дозы назначен-

ного пациенту антикоагулянта. Тогда как при более чем 100 % повышении от исходного значения РФМК-теста, мы считаем обоснованным пересмотр в сторону увеличения профилактической дозы НМГ на 50% и более, а также акцентированное повышение мер инструментальной диагностики скрытого ТГВ и ТЭЛА.

Для онкологических пациентов, особенно с солидными опухолями, характерно повышение уровня фибриногена [6], что также имеет место в послеоперационном периоде, нами было проведено изучение динамики его показателя параллельно с проведением РФМК-теста и в те же сроки послеоперационного периода (табл. 6).

Таблица 6.

Динамика средних показателей фибриногена в послеоперационном периоде у пациентов категории «В» (г/л)

Подгруппы пациентов	Сроки исследования				
	До операции	3-сутки	5-сутки	7-сутки	10-сутки
без ВТЭО (n=75)	4,6±0,3	4,8±0,3	5,3±0,6*	5,1±0,7#	5,0±0,3*
с ВТЭО (n=9)	5,3±0,6	5,6±0,4	6,8±0,3*	7,3±1,3#	7,1±1,5*
Всего (n=84)	4,67±0,33	4,89±0,31	5,46±0,57	5,34±0,76	5,2±0,43

\* p<0,05 при сравнении между выделенными показателями в столбце;

# p<0,01 при сравнении между выделенными показателями в столбце.

Как и с предыдущим показателям гемостазиограммы, начиная с 5-х суток после операции уровень фибриногена у пациентов, у которых имели место ВТЭО, был достоверно выше, чем у больных, не имевших этого характера осложнений, что прослеживалось и при последующих измерениях. Наибольших различий (p<0,01) показатели достигли на 7-е сутки после операции. Однако следует быть объективным и признать, что ни в одной из групп сравнения в этой таблице, рост показателя в последующих измерениях не достиг статистической значимости отличий от исходного измерения уровня фибриногена до операции, в том числе и у генеральной совокупности пациентов с высоким риском ВТЭО и дигестивными локализациями рака (p>0,05).

Если учесть, что 63,9 % (n=25) всех ВТЭО в анализируемый период возникли на 8–15 сутки после операции, то выявленные отличия в уровне фибриногена допустимо рассматривать в контексте доклинического предиктора неадекватности используемого в конкретном клиническом случае комплекса тромбопрофилактики. И здесь уместно предположить, что сходно у части онкохирургических пациентов возможно присутствие латентно про-

текающего синдрома диссеминированного внутрисосудистого свёртывания крови, который не был купирован профилактической дозой НМГ, оказавшейся неадекватной у этой категории больных, что можно также объяснить первым пиком «ранних» ВТЭО, возникших в 25 % случаев в 1–3 сутки после операции.

Оценка относительных показателей роста уровня фибриногена в обеих группах сравнения представлена в таблице 7.

Таблица 7.

Динамика прироста абсолютных показателей фибриногена в послеоперационном периоде у пациентов категории «В»

Подгруппы пациентов	До операции (г/л)	Темп прироста от исходного показателя в %			
		3-сутки	5-сутки	7-сутки	10-сутки
без ВТЭО (n=75)	4,6±0,3	4,3	11,5	11,1	8,7
с ВТЭО (n=9)	5,3±0,6	5,7	28,3	37,7	34,0
Всего (n=84)	4,67±0,33	4,7	16,9	14,3	11,3

Из таблицы видно, что на третьи сутки после операции различий в показателях темпов роста уровня фибриногена в сравниваемых группах не было, а сами параметры составили 4,3 % и 5,7 % в подгруппах групп пациентов без ВТЭО и с возникшими ВТЭО, соответственно.

Начиная с 5-х суток после операции, в подгруппе пациентов, с подтверждёнными ВТЭО, показатель темпа роста уровня фибриногена значительно превышал как уровень предыдущего измерения, так и значение в сравниваемой подгруппе (11,5 %), достигнув 28,3 % и демонстрируя тенденцию прогрессивного превышения значения с результатами в подгруппе сравнения при последующих измерениях. Если ВТЭО не возникало, то темп роста уровня фибриногена ни разу не превысил отметку в 12 %, тогда как в случае угрозы возникновения либо манифестации ВТЭО, он был в 2,5–3,9 раз выше.

На основании анализа результатов комплексной рутинной профилактики ВТЭО у онкохирургических больных, осуществляемой во второй период исследования были сделаны промежуточные выводы:

1. Рутинная комплексная профилактика ВТЭО по своей эффективности не имеет альтернативы.
2. В структуре ВТЭО высока доля осложнений, возникших в ранние сроки (1–3 сутки) после операции — 25 %. Это может являться следствием не диагностированного исходного ТГВ, отражающего латентно протекающий ДВС-синдром, что типично для онкохирургических пациентов с солидным характером опухоли.

3. Клиническая неадекватность стандартной дозы Эноксапарина (40 мг) реализовалась у части пациентов из категории высокого риска в виде относительного роста частоты проксимальных ТГВ, выявляемых в поздние сроки (8–15 сутки) — 63,9 %.

В третий период настоящего исследования (2017–2022 гг.) 914 пациентам, дополнительно предпринимались меры активной переоценки степени риска ВТЭО на ранних этапах послеоперационного лечения, в основе которых были результаты, полученные во II периоде исследования.

Дополнительные периоперационные мероприятия включали:

- компрессионное ультразвуковое ангиосканирование (КУАС) вен нижних конечностей до- и на 3–5 сутки после операции;
- эхокардиографию до операции при сочетании нескольких факторов риска, ассоциированных с физическим состоянием пациента (сумма баллов  $\geq 4$  согласно шкале оценки риска ВТЭО у нехирургических больных) для выявления нефлебогенных источников тромбоемболов, а также проведение данного исследования при подозрении на ТЭЛА;
- в случаях применения осмотических слабительных (89 %) и при массе тела более 60 кг, адекватную регидратацию путём инфузии 600–1000 мл кристаллоидов за 2 часа до операции;
- при 1,5–2-х кратном росте от исходного значения показателя РФМК-теста и при отсутствии достоверных признаков ТГВ — повышение профилактической дозы Эноксапарина с 40 мг до 60 мг/сутки;
- профилактику послеоперационной паретической кишечной непроходимости и синдрома интраабдоминальной гипертензии, путём однократных и реже — двукратных внутривентральных введений 100–150 мл 0,5 % раствора Новокаина и 20–40 мл 1 % раствора Диоксидаина на протяжении 1–4 суток после операции;
- пролонгирование инъекций НМГ до 30 суток на основе добровольного информированного согласия у пациентов категории «В» при сочетании нескольких факторов риска, оцененных на уровне  $\geq 2$  баллам по критериям Индекса Wells.

Активная переоценка и усиление мер профилактики в третьем периоде исследования по сравнению с вторым, позволили добиться снижения частоты ВТЭО у пациентов с умеренной степенью риска с 3,2 % до 1 %, а у пациентов с высокой степенью риска с 4,1 до 1,3 % и минимизировать частоту фатальной ТЭЛА до уровня 0,1 % (табл. 8).

К позитивной тенденции применённой стратегии повышения периоперационной безопасности пациентов

в третий период исследования, можно также отнести то, что ни одно из возникших проявлений ВТЭО не имело достоверно большую частоту. Это заключение оказалось справедливым как при сравнении частоты возникновения ТГВ по уровню локализации процесса, так и для аналогичных показателей в различных категориях прогноза ВТЭО ( $p > 0,05$ ), что свидетельствует о преимуществах предложенного подхода именно у той категории хирургических пациентов, для безопасности которых, она и задумывалась, а именно — для больных с высоким риском ВТЭО.

Таблица 8.

Результаты профилактики ВТЭО  
в третий период исследования

Категории прогноза	Осложнения			Всего
	ТГВ голени	Проксимальный ТГВ	Фатальная ТЭЛА	
«А» n = 521	4 (0,8±0,4 %)	1 (0,19±0,19 %)	—	5 (1±0,4 %)
«В» n = 393	3 (0,8±0,4 %)	1 (0,25±0,25 %)	1 (0,25±0,25 %)	5 (1,3±0,6 %)
Всего (914)	7 (0,8 %)	2 (0,22 %)	1 (0,1 %)	10 (1,1 %)

### Заключение

Активная переоценка мер периоперационной безопасности пациентов способствовала трёхкратному снижению риска проксимальных тромбозов в третий период, по сравнению со вторым, а статистической достоверности отличий не удалось добиться только ввиду

низкой частоты этого вида осложнений в обеих группах: 0,6 % и 0,2 % соответственно. Характерно, что абсолютно схожая пропорция сохранялась и в выявленной частоте ТЭЛА в рассматриваемые периоды применения стратегий периоперационной безопасности.

Общая частота ВТЭО по всем трём периодам, выделенным по основному критерию, заключающемуся в перманентном совершенствовании стратегии периоперационной безопасности пациентов от ВТЭО, прогрессивно снижалась в соотношении: 6,0 % — 3,4 % — 1,1 % ( $p < 0,001$ , при сравнении любого из показателей).

Таким образом, эффективность профилактики ВТЭО коррелирует со степенью риска и с адекватностью своевременной переоценки её при усугублении клинической ситуации. В рамках обсуждаемого подхода, каждому пациенту показан стандартный набор профилактических компонентов. И лишь в случае возникновения у больного ВТЭО следует незамедлительно перейти на лечебный режим дозирования антикоагулянтов.

Несмотря на безусловную прогрессивность рутинного подхода к профилактике ВТЭО по сравнению с бессистемным применением мер тромбопрофилактики, следует признать, что положенный в основу градации пациентов на категории риска принцип учёта факторов, ассоциированных с их физическим состоянием и с характером предстоящей операции, не гарантирует защиту от вероятности возникновения послеоперационных ВТЭО.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Key N.S., Khorana A.A., Kuderer N.M. et al. Venous Thromboembolism Prophylaxis and Treatment in Patients With Cancer: ASCO Clinical Practice Guideline Update. *J Clin Oncol.* — 2020; №38 (5). — P. 496–520.
2. Key N.S., Khorana A.A., Kuderer N.M. et al. Venous Thromboembolism Prophylaxis and Treatment in Patients With Cancer: ASCO Guideline Update. *J. Clin Oncol.* — 2023. — JCO2300294. doi: 10.1200/JCO.23.00294. Online ahead of print.
3. Wumaier K., Li W., Cui J. New Oral Anticoagulants Open New Horizons for Cancer Patients with Venous Thromboembolism. *Drug Des Devel Ther.* — 2022. — №16. — P. 497–2507.
4. Wei Q., Wang Y., An Y.B. et al. Rationale and design of a prospective, multicenter, cohort study on the evaluation of postoperative Venous ThromboEmbolism incidence in patients with ColoRectal Cancer (CRC-VTE trial). *Transl. Cancer Res.* — 2022. — №5. — P. 1406–1412.
5. Bazarbashi S., Alkhalidi T., Aseafan M. et al. Thromboembolic Events Burden in Patients With Solid Tumors and Their Predisposing Factors. *Cureus.* — 2022. — №14(3). — e23624.
6. Lyman G.H., Khorana A.A., Kuderer N.M. et al. Venous thromboembolism prophylaxis and treatment in patients with cancer: american society of clinical oncology practice guideline update. *J. Clin. Oncol.* — 2013. — №31(17). — p. 2189–2204.

© Карсанов Алан Мухарбекович (karsan@inbox.ru); Маскин Сергей Сергеевич (maskins@bk.ru);

Вахоцкий Владимир Васильевич (sogma.rs@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ РУБЦОВ В КОСМЕТОЛОГИИ: ОБЗОР ЭФФЕКТИВНЫХ ПРОЦЕДУР И ТЕХНОЛОГИЙ

## MODERN METHODS OF TREATMENT OF POST-TRAUMATIC SCARS IN COSMETOLOGY: AN OVERVIEW OF EFFECTIVE PROCEDURES AND TECHNOLOGIES

*D. Lisovskaya*

*Summary.* Treatment of scar deformities is one of the most complex problems. The choice of treatment tactics depends on the correct assessment of the type of scarring and further determines its effectiveness. It has been established that scar formation and type depend on many internal and external factors. According to the most common classification, scars are divided into normotrophic, atrophic, which refer to superficial scars, and deep — hypertrophic, keloid and mixed scars. Determination of the stages of scar tissue formation is important for choosing the method of treatment of the patient and obtaining the maximum possible positive result. Different opinions concerning the stages and terms of the wound healing process and scar formation have been presented. Modern approaches to scar treatment are analyzed taking into account their type.

*Keywords:* posttraumatic scars, cosmetology, scar treatment, scar deformities.

### Введение

Ежегодно во всем мире десятки миллионов людей приобретают посттравматические рубцы, вызванные ожогами и другими травматическими повреждениями. Рубцевание рассматривается как одно из неизбежных последствий травмы. Распространенность гипертрофического рубца, наиболее распространенного типа посттравматических рубцов, достигает 70 % после ожоговой травмы [1]. Посттравматические рубцы, особенно на лице и шее, косметически непривлекательны из-за дисхромии и неправильной текстуры по сравнению с окружающей кожей.

Обычно посттравматические рубцы вызывают выраженные эстетические и функциональные нарушения, что в определенной степени влияет на качество жизни пациентов. В образовании рубца основная роль принадлежит чрезмерному образованию соединительной ткани. Скорость заживления и дальнейший внешний вид являются ключевым вопросом пациентов. Возникновение эстетических проблем, зуд, боль и контрактуры могут существенно повлиять на качество жизни пациента как физически, так и психологически. Разнообразие

*Лисовская Дарья Евгеньевна*  
врач дерматовенеролог, косметолог, трихолог,  
Клиника эстетической медицины Elixir Estate, г. Самара  
d.lisovskaya@gmail.com

*Аннотация.* Лечение рубцовых деформаций является одной из наиболее сложных проблем. От правильной оценки типа рубцевания зависит выбор тактики лечения, что в дальнейшем определяет его эффективность. Установлено, что образование и тип рубцов зависят от многих внутренних и внешних факторов. По наиболее распространенной классификации рубцы делятся на нормотрофические, атрофические, которые относятся к поверхностным рубцам, а также глубокие — гипертрофические, келоидные и смешанные. Определение этапов формирования рубцовой ткани является важным для выбора метода лечения пациента и получения максимально возможного положительного результата. Приведены различные мнения относительно этапов и сроков процесса заживления раны и формирования рубцов. Проанализированы современные подходы к лечению рубцов, учитывая их тип.

*Ключевые слова:* посттравматические рубцы, косметология, лечение рубцов, рубцовые деформации.

рубцов обусловлено различными механизмами образования. Чаще всего в практике врача встречаются гипертрофические и келоидные рубцы, но они отличаются частотой возникновения, распространением дефекта и последствиями.

В современной литературе не существует единого мнения относительно, методов оценки и подходов к лечению. Описано достаточно много методов лечения посттравматических рубцов, но функциональные и косметические эффекты от их использования в большинстве случаев остаются неудовлетворительными, что обуславливает актуальность разработки методов диагностики, прогнозирования течения и результата рубцевания, хирургического и консервативного лечения.

*Целью работы* был анализ современного состояния вопросов лечения посттравматических рубцов в косметологии.

### Анализ современных источников

Рубец (cicatrix) — это вторичный морфологический элемент кожи, который представляет собой плотное об-

разование, содержащее гиалинизированную, богатую коллагеновыми волокнами соединительную ткань [4, 5, 7].

Не существует единой общепринятой классификации рубцов согласно клиническим проявлениям. Наиболее распространенным является деление на нормотрофические, атрофические, которые относятся к поверхностным рубцам, а также глубокие — гипертрофические, келоидные и смешанные рубцы [1]. Наиболее сложными в лечении являются именно глубокие рубцы, которые образуются вследствие затяжного воспаления после травмы, что приводит к гипоксии ткани, присоединению вторичной инфекции, а также снижению местной иммунной реакции [6].

Определение этапов формирования рубцовой ткани является важным для выбора метода лечения пациента и получения максимально возможного положительного результата. В литературе имеются несколько различных мнений относительно этапов и сроков процесса заживления раны. Приведем наиболее известные из классификаций этого процесса.

Так, F.V. Niessen [4, 7, 9] выделяет 3 основные фазы в процессе заживления раны и формирования рубца:

1. Воспаления и посттравматического отека. Происходит с момента повреждения кожных покровов и кровоизлияния в рану. Характеризуется активацией реакций внутреннего и внешнего гемостаза, а повреждение тромбоцитов инициирует каскад коагуляции (от момента возникновения раны до 5-7 суток).
2. Пролиферации и образования грануляционной ткани. Происходит формирование экстракорпорального матрикса под влиянием факторов роста и медиаторов воспаления (1–4-я неделя).
3. Эпителизации и организации рубца. Проявляется переходом коллагена III типа в коллаген I типа и заживлением раны (до 6 месяцев).

Другие авторы [7, 11] указывают на наличие 4 стадий в процессе формирования рубцовой ткани:

1. Стадия послеоперационного воспаления и эпителизации раны. Происходит высвобождение трансформирующих факторов роста вследствие повреждения тромбоцитов, синтез экстракорпорального матрикса и ангиогенез, пролиферация и дифференциация кератиноцитов (1–10 суток после повреждения).
2. Стадия активного фибриллогенеза и образования неплотного рубца. Происходит образование грануляционной ткани в ране, регрессия кровеносных микрососудов и увеличение концентрации коллагеновых и эластиновых волокон (10–30 суток после повреждения).
3. Стадия образования плотного рубца. Характерной особенностью данной фазы рубцеобразования

является увеличение количества коллагеновых и эластиновых волокон и преобладание содержания коллагена III типа над содержанием коллагена I типа (30–90 суток после повреждения).

4. Стадия завершающей рубцовой трансформации. Наблюдается исчезновение кровеносных микрососудов и лизис избытка коллагеновых волокон (до 3–12 месяцев).

Проведенный анализ результатов доступных исследований показал, что на сегодня не существует объективных критериев и верифицированных индивидуализированных алгоритмов действия врача при лечении посттравматических рубцов. Для решения этих вопросов было создано Международное общество по проблемам рубцов (Scar management), члены которого пытались систематизировать данные последних исследований по лечению посттравматических рубцов [8].

Значительная распространенность патологических рубцов в популяции требует создания реестра методов их коррекции. Также не существует общего мнения относительно времени начала проведения лечебных мероприятий. Так, N. Jones [10] не рекомендует проводить коррекцию рубцов до времени их окончательной организации (6–12 месяцев после травматического повреждения). Другие авторы, наоборот, считают, что более оптимальные результаты лечения можно получить в срок до 1 года после травмы [6, 10].

Несмотря на значительное количество методов лечения рубцов, их частота и распространенность имеют тенденцию к росту. Долгое время выбор подходов к терапии рубцов основывался на собственном опыте и интуиции специалиста, который ее назначал, поскольку клинические исследования, на которые могли бы ориентироваться врачи, отсутствовали [4]. В арсенале современных косметологов имеется широкий выбор способов и методов лечения посттравматических рубцов. Все консервативные методы делятся на медикаментозные и физиотерапевтические.

Гипертрофические и келоидные рубцы в ранней фазе формирования сложно дифференцировать, поэтому терапию нужно начинать как можно раньше. Терапия включает внутрирубцовые инъекции кортикостероидов (триамцинолона ацетонида и бетаметазона натрия фосфата), цитостатических препаратов (5-фторурацила и блеомицина), интерферона, криодеструкцию, использование дермароллера, неаблятивного сосудистого лазера, силиконовых гелей и покрытий, ротационной дермабразии.

Терапия и коррекция смешанных рубцов более длительная, это связано с разнообразием видов и методов терапии, их комбинаций. Важную роль играет интерваль-

ность проведения процедур, их последовательность, а особенно реакция рубца на терапию. Следуя базовому правилу «чем раньше начнется терапия, тем лучше будет результат», рекомендуют начинать терапию с рубцов, которые находятся на более ранней стадии формирования [2].

Чаще всего для лечения посттравматических рубцов применяют лазер и IPL, которые взаимодействуют с тканью на основе распространения света через ткань и последующего поглощения фотонов с преобразованием в тепло, давление (фотоакустический эффект), фотохимических и фотобиологических реакций.

Для лечения посттравматических рубцов наиболее часто используются импульсный лазер на красителе (PDL), абляционные и неабляционные фракционные лазеры и IPL. PDL (585 нм или 595 нм), 532-нм калий-титанилфосфатный лазер и IPL (400–1200 нм; 500–600 нм) избирательно воздействуют на гемоглобин в эритроцитах внутри сосудов и достигают цели скоагулировать локальные сосуды и уменьшить кровоснабжение для роста рубцовой ткани [5]. Для успешного разрушения рубцовых сосудов необходима соответствующая длительность импульса, которая короче времени тепловой релаксации гемоглобина. Также было показано, что PDL снижает экспрессию фактора роста соединительной ткани (CT) как у пациентов с келоидами [6], так и в культивируемых *in vitro* келоидных фибробластах. PDL и IPL могут улучшить цвет, текстуру и эластичность рубцов за счет уменьшения пигментации, васкуляризации и объема рубцовой ткани [8].

В настоящее время разработаны различные абляционные фракционные и неабляционные фракционные лазеры, которые широко используются для лечения травматических рубцов для улучшения внешнего вида и минимизации связанных с ними боли и зуда [3, 4]. Доказано, что абляционные фракционные лазеры, а также неабляционные фракционные лазеры имеют функциональное улучшение, а также лечение рубцовой контрактуры, что подтверждается значительными доказательствами [5]. По сравнению с лазерами полного поля фракционная лазерная терапия посттравматических рубцов связана с относительно низким уровнем осложнений.

В последние годы в сочетании с фракционной технологией микроплазменная радиочастота добилась хороших результатов при лечении посттравматических рубцов, а также атрофических рубцов после угревой сыпи [2]. По сравнению с абляционным фракционным лазером, фракционная микроплазменная радиочастотная технология (ФМРТ) развивается как технология, характеризующаяся как абляцией, так и термической коагуляцией, которая способна индуцировать неогенез

коллагена и ремоделирование эпидермиса и дермы. Гистологические исследования показывают, что ФМРТ создает поверхностные и широкие «кратероподобные» микроканалы, в то время как фракционный углекислотный лазер создает узкие и глубокие «конусообразные» микроканалы [5]. Важно отметить, что несмотря на то, что микроплазменная радиочастота считается безопасной технологией лечения посттравматических рубцов с минимальными осложнениями, крайне важно применять локальное охлаждение сразу после процедуры, так как она сопровождается накоплением тепла в обрабатываемых тканях.

Инновационные технологии доставки лекарств, такие как трансэпидермальное введение лекарств (ТЭДЛ), представляют собой привлекательную альтернативу традиционным инъекциям с помощью иглы, которые болезненны и приводят к неравномерному распределению лекарств. Как абляционный фракционный лазер, так и микроплазменная радиочастотная технология способны создавать массивы микроканалов в рубце, через которые терапевтические препараты могут эффективно и безопасно доставляться в глубокий слой толстой рубцовой ткани. Поэтому триамцинолона ацетонид, 5-фторурацил, коллагеназа, богатая тромбоцитами плазма, поли-L-молочная кислота и другие лекарства или вещества часто применяются местно в ближайшем послеоперационном периоде после фракционного лазерного или микроплазменного лечения в качестве комбинированной терапии как гипертрофических, так и атрофических травматических рубцов для улучшения клинических результатов [6].

Недавно была внедрена ультразвуковая технология для дальнейшего облегчения проникновения противорубцовых препаратов в дерму через микроканалы, создаваемые микроплазменной радиочастотой. Ультразвук улучшает доставку лечебных препаратов за счет механического (акустического) давления и крутящих моментов за счет распространения ультразвуковой волны через сонотрод к дистальному рогу и создания эффекта «молотка» [7]. Комбинированная терапия микроплазменной радиочастотой с ультразвуком зарекомендовала себя как эффективный метод лечения как гипертрофических, так и атрофических рубцов с удовлетворительными результатами без осложнений, присущих другим методам [9].

### Выводы

Лечение посттравматических рубцов — это очень сложная задача. Основное условие успешного лечения посттравматических рубцов — предотвращение их образования. Поэтому ведущую роль в достижении желаемых эстетических результатов лечения должна занимать именно профилактика образования рубцов. Совершенствование известных и поиск новых методов профилак-

тики посттравматических рубцов — актуальная задача современной косметологии.

Было доказано, что фракционный лазер, IPL, радиочастоты и технологии доставки лекарств с помощью ультразвука по отдельности, или в сочетании, эффективно

и безопасно улучшают внешний вид рубцов (корректируют толщину, текстуру, убирают эритему и пигментацию), уменьшают боль и зуд, снижают контрактуру и улучшают функционирование тканей, и уменьшают потребность в хирургическом иссечении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богачёв В.Ю., Болдин Б.В., Варич Г.А. Консервативные методы лечения и профилактики рубцов кожи. *Амбулаторная хирургия*. 2021. №18(2). С. 39–44.
2. Вертиева Е.Ю. Обзор патогенетических механизмов и методов коррекции рубцов. *Российский журнал кожных и венерических болезней*. 2015. №1. С. 73–78
3. Владимирова О.В., Лаврешин П.М., Минаев С.В., Владимиров И.В. Опыт применения противорубцового комбинированного средства с босвеллиевой и гиалуроновой кислотами и цепапином у пациентов с рубцами на ранних стадиях их развития. *Амбулаторная хирургия*. 2019. № 1–2(73–74). С. 140–145.
4. Зорина А.И. Метод коррекции возрастных изменений кожи с применением аутологичных дермальных фибробластов. *Клиническая дерматология и венерология*. 2013. № 3. С. 30–37.
5. Ковалева Л.Н. Клинико-морфологические параллели у пациентов с рубцовой патологией кожи. *Дерматовенерология. Косметология. Сексопатология*. 2016. № 1–4. С. 108–117.
6. Мантурова Н.Е., Круглова Л.С., Стенько А.Г. Рубцы кожи. Клинические проявления, диагностика и лечение. Москва: Гэотар, 2021. С. 44–47.
7. Олисова О.Ю., Авагян Д.В. Терапия рубцов постакне при сочетанном применении CO<sub>2</sub>-лазером и аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы. *Российский журнал кожных и венерических болезней*. 2018. Т. 21. №1. С. 48–52.
8. Парамонов Б.А. Современное состояние теории и практики лечения рубцов кожи (взгляд на проблему) // *Косметика и Медицина*. 2015. №4. С.29–34.
9. Прохоров Д.В., Щербенёва А.А., Нгема М.В., Испирьян М.Б., Кузнецова М.Ю. Современные методы комплексного лечения и профилактики рубцов кожи. *Крымский терапевтический журнал*. 2021. №1. С. 26–30
10. Таганов А.В., Брагина А.В. Келоидные рубцы. Современные аспекты диагностики и лечения. *Consilium Medicum*. 2021; 23 (8): 637–652.
11. Юсупова, Д., Абдуллаев, Ш., Халилов, А. Современное состояние проблемы профилактики и лечения рубцов на лице различной этиологии. in *Library*. 2021. №21(2). С. 420–424.
12. Amini-Nik S, Yousuf Y, Jeschke MG. Scar management in burn injuries using drug delivery and molecular signaling: current treatments and future directions. *Adv Drug Deliv Rev*.2018; 123:135–154
13. Arrowitz C, Schoelermann AM, Mann T, et al. Effective Tyrosinase Inhibition by Thiamidol Results in Significant Improvement of Mild to Moderate Melasma. *J Invest Dermatol*. 2019;139(8):1691–8.
14. David B. Hom. Facial Scar management. *Facial Plastic Surgery Clinics of North America*. 2017. Vol. 25. № 1. P. 36–46.
15. Ellis MM, Jones LR, Siddiqui F, et al. The Efficacy of Surgical Excision Plus Adjuvant Multimodal Therapies in the Treatment of Keloids: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Dermatol Surg*. 2020;46(8):1054-59.
16. Fernández-Crehuet P, Fernández-Crehuet JL, Benitez-Camacho F. Successful cosmetic outcome of earlobe keloid after surgical excision and topical imiquimod 5. *Dermatol Ther*. 2020;33(6): e13815
17. Karmisholt KE, Wenande E, Thaysen-Petersen D, Philipson PA, Paasch U, Haedersdal M. Early intervention with non-ablative fractional laser to improve cutaneous scarring—a randomized controlled trial on the impact of intervention time and fluence levels. *Lasers Surg Med*. 2018;50(1):28–36.
18. Kent R.A., Shupp J., Fernandez S., Prindeze N., Deklotz C.M.C. Effectiveness of early laser treatment in surgical scar minimization: a systematic review and meta-analysis. *Dermatol Surgery*. 2020. Vol. 46. P. 402–10
19. Ortiz A, Elkeeb L, Truitt A, et al. Evaluation of a novel fractional resurfacing device for the treatment of acne scarring. *Lasers Surg Med* 2019;41(2):122-7.
20. Pilehvar-Soltanahmadi, Y.; Dadashpour, M.; Mohajeri, A.; Fattahi, A.; Sheervalilou, R.; Zarghami, N. An Overview on Application of Natural Substances Incorporated with Electrospun Nanofibrous Scaffolds to Development of Innovative Wound Dressings. *Mini Rev. Med. Chem*. 2018, 18, 414–427.
21. Weinhammer AP, Shields BE, Keenan T. Intralesional corticosteroid-induced hypopigmentation and atrophy. *Dermatol Online J*. 2020;26(1):130
22. Wolfram D., Tzankov A., Pülzi P., Piza-Katzer H. Hypertrophic scars and keloid — a review of their pathophysiology, risk factors and therapeutic management // *Dermatol. Surg*. 2018. Vol. 35(2). P.171–181.

© Лисовская Дарья Евгеньевна (d.lisovskaya@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# КЛИНИКО-ЛАБОРАТОРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАЦИЕНТОВ, ПЕРЕНЕСШИХ ИНФАРКТ МИОКАРДА В СОЧЕТАНИИ С НАРУШЕНИЯМИ УГЛЕВОДНОГО ОБМЕНА ВО ВРЕМЯ ПАНДЕМИИ НОВОКОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

## CLINICAL AND LABORATORY CHARACTERISTICS OF PATIENTS WHO SUFFERED MYOCARDIAL INFARCTION IN COMBINATION WITH CARBOHYDRATE METABOLISM DISORDERS DURING THE NEW CORONAVIRUS PANDEMIC

**A. Maltsev  
N. Koriagina  
V. Koriagin**

*Summary.* Although acute myocardial infarction (AMI) requires timely intervention, nationwide data on the association between disruption of emergency services and outcomes in patients with AMI during the 2019 novel coronavirus infection (COVID-19) pandemic are limited. In addition, it has not yet been investigated whether impaired carbohydrate metabolism affects the severity of the disease in these patients.

The aim of the study was to determine the clinical and laboratory features of acute myocardial infarction in people with impaired carbohydrate metabolism (ICM) before and during the COVID-19 pandemic.

*Results.* In 2020, 151 people and 289 in 2019 with AMI applied to the regional vascular center, while in 2019 there were 162 people with ICM and 93 patients with AMI with ICM in 2020. In the average delivery time from pain to doors during the pandemic were significantly larger than before the pandemic (812 (355, 1850) vs. 380 (131, 755) min,  $p = 0.02$ ). There were 56 (60 %) patients in 2020 and 46 (28 %) in 2019 among persons with AMI and ICM, who applied 12 hours after the onset of pain in the pandemic and pre-pandemic eras ( $p = 0.011$ ). In 2020, the proportion of elderly patients and women was higher in the group with ICM than in the group without ICM ( $p = 0.002$ ). There is a significant decrease in the indicators of blood purification of the glomerular filtration rate in 2020 with AMI and ICM. Glucose levels in both years were comparable. The marker of myocardial necrosis Troponin I, ng/ml in the 2019 group was  $2.659 \pm 8.057$  (CI 1.405–3.913), and in 2020 it was  $6.301 \pm 12.728$  (CI 3.605–8.998),  $p = 0.016$ , the significance of differences indicates a greater manifestation of myocardial necrosis in the group of AMI with ICM in 2020 due to late seeking medical help. The time spent in the intensive care unit and the number of days on artificial lung ventilation have significant differences.

*Conclusions:* We observed a decrease in the number of AMI patients admitted to the vascular center during the covid 19 outbreak compared to the previous year. During the outbreak period, there was a significantly longer duration of symptom onset before an emergency room visit, in addition to a higher rate of resuscitation and ventilation. It was AMI patients with impaired glucose metabolism who waited much longer

**Мальцев Алексей Ильич**

Соискатель, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера; врач кардиолог, ГБУЗ ПК Клинический кардиологический диспансер 1412131@mail.ru

**Корягина Наталья Александровна**

доктор медицинских наук, профессор, Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, nina11-85@mail.ru

**Корягин Владимир Сергеевич**

Пермский государственный медицинский университет им. академика Е.А. Вагнера, vladimirkoryagin12@gmail.com

*Актуальность.* Хотя острый инфаркт миокарда (ОИМ) требует своевременного вмешательства, общенациональные данные о связи между нарушением работы служб неотложной помощи и исходами у пациентов с ОИМ во время пандемии новой коронавирусной инфекции 2019 (НКВИ) ограничены. Кроме того, еще не исследовано, влияет ли нарушение углеводного обмена на тяжесть заболевания у этих пациентов.

*Целью исследования* было определить клинико-лабораторные особенности острого инфаркта миокарда у лиц с нарушениями углеводного обмена (НУО) до и во время пандемии НКВИ.

*Материалы и методы.* В анализ мы включили последовательных пациентов с 01 октября 2020 г. по 10 декабря 2020 г., которые обратились с ОИМ и прошли инвазивную ангиографию в региональном сосудистом центре ГБУЗ ПК Клинический кардиологический диспансер, и последовательных пациентов, госпитализированных с ОИМ с 1 октября 2019 г. по 10 декабря 2019 г. Статистический анализ проведен с использованием SPSS.

*Результаты.* в 2020 году обратилось 151 человек и 289 в 2019 году с ОИМ в региональный сосудистый центр (РСЦ), при этом было в 2019 году 162 человека с НУО и 93 пациентов с ОИМ с НУО человека в 2020 году. В среднее время доставки от боли до двери во время пандемии было значительно больше, чем в период до пандемии (812 (355, 1850) против 380 (131, 755) мин,  $p = 0,02$ ). Среди лиц ОИМ и НУО в 2020 году было 56 (60 %) и в 2019 году 46 (28 %) пациентов, которые обратились через 12 часов после начала боли в пандемическую и препандемическую эпохи ( $p = 0,011$ ). В 2020 году доля пожилых пациентов и женщин была выше в группе с НУО, чем в группе без НУО ( $p = 0,002$ ). Имеется значимое снижение показателей очищения крови скорости клубочковой фильтрации в 2020 году при ОИМ и НУО. Уровни глюкозы в обоих годах были сопоставимы. Маркер некроза миокарда Тропонин I, нг/мл в группе 2019 года составил  $2,659 \pm 8,057$  (ДИ 1,405–3,913), и 2020 году  $6,301 \pm 12,728$  (ДИ 3,605–8,998),  $p = 0,016$ , значимость различий указывает на большее проявления некроза миокарда в группе ОИМ с НУО в 2020 году обусловленного поздним обращением за медицинской помощью. Время пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии

during the pandemic to seek medical help. These results resulted in more than a doubling of the time from pain onset to revascularization, which increases the risk of future complications. This fact significantly influenced the clinical and laboratory indicators of the severity of patients with myocardial infarction against the background of carbohydrate metabolism disorders, even if there were no differences in glycemia levels.

*Keywords:* SARS-CoV-2, delayed revascularization, acute myocardial infarction.

### Актуальность

С тех пор как в декабре 2019 года в Китае был зарегистрирован первый случай коронавирусной болезни 2019 года (НКВИ), вызванной тяжелым острым респираторным коронавирусом 2 (SARS-CoV-2) [1], НКВИ стремительно и разрушительно распространился по всему миру. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) объявила НКВИ глобальной пандемией 11 марта 2020 г. [2], и многие страны ввели строгие меры для ограничения его распространения. На территории Пермского края закрыты учреждения с подтвержденными случаями, в том числе отделение неотложной помощи. Кроме того, ресурсы здравоохранения были в основном направлены на лечение пациентов с заболеваниями, связанными с НКВИ, что ограничивало своевременное и адекватное лечение других пациентов в критическом состоянии [3–7]. Острый инфаркт миокарда (ОИМ) является последствием ишемического каскада и некроза миокарда, что требует немедленной реваскуляризации [8]. Описано значительное снижение числа госпитализаций или чрескожных коронарных вмешательств (ЧКВ) у пациентов с ОИМ во время пандемии НКВИ [9,10]. В нескольких исследованиях были проанализированы общенациональные данные, охватывающие исходные характеристики пациентов и клинические исходы пациентов с ОИМ. Кроме того, мало сообщений о том, как сахарный диабет (СД) влияет на исходы у пациентов с ОИМ, поступающих в отделение неотложной помощи во время пандемии НКВИ [11]. Учитывая значительное увеличение тяжести заболевания и смертности от НКВИ у больных СД, мы предположили, что было бы полезно оценить, влияет ли сахарный диабет на посещения отделений региональных сосудистых центров, исходы пациентов с ОИМ во время вспышки НКВИ. Наше исследование было направлено на определение закономерностей

и количества дней на искусственной вентиляции легких имеют значимые отличия.

*Выводы.* Мы наблюдали снижение числа пациентов с ОИМ, поступающих в отделение РСЦ в период вспышки НКВИ, по сравнению с предыдущим годом. В период вспышки была отмечена значительно более длительная продолжительность как появления симптомов до посещения отделения неотложной помощи, в дополнение был более высокий показатель реанимации, вентиляции легких. Именно пациенты ОИМ с НУО значительно дольше ждали во время пандемии, чтобы обратиться за медицинской помощью. Эти результаты привели к более чем двухкратному увеличению времени от начала болевого синдрома до реваскуляризации, что увеличивает риск будущих осложнений. Данный факт значимое повлиял на клинико-лабораторные показатели тяжести пациентов с инфарктом миокарда на фоне нарушений углеводного обмена, даже при условии отсутствия различий по уровням гликемии.

*Ключевые слова:* НКВИ, SARS-CoV-2, отсроченная реваскуляризация, острый инфаркт миокарда.

и изменений в госпитализации у пациентов с ОИМ во время пандемии и, в частности, на изучение того, были ли исходы у этих пациентов затронуты сопутствующим нарушением углеводного обмена (НУО).

Целью исследования было определить клинико-лабораторные особенности острого инфаркта миокарда у лиц с нарушениями метаболизма глюкозы до и во время пандемии НКВИ.

### Материалы и методы

В анализ мы включили последовательных пациентов с 01 октября 2020 г. по 10 декабря 2020 г., которые обратились с ОИМ и прошли инвазивную ангиографию в региональном сосудистом центре ГБУЗ ПК Клинический кардиологический диспансер, и последовательных пациентов, госпитализированными с ОИМ с 1 октября 2019 г. по 10 декабря 2019 г.

Время от болевого синдрома до поступления определялось как время от появления симптома до момента обращения в стационар. Мы разделили время контакта на ранние и поздние группы, так, что первые пациенты сообщали о появлении симптомов через 12 часов или меньше, и другие сообщили о появлении симптомов более 12 часов. От двери до реперфузии время определялось как время прибытия до проведения коронароангиографии. ИМпST и ИМбпST были определены, согласно четвертому универсальному определению инфаркта миокарда [12]. Для определения нарушений углеводного обмена оценивали уровень глюкозы крови утром после предварительного голодания в течение не менее 8 часов и не более 14 часов, согласно алгоритмам специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом, 2019 года [13].

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова–Смирнова (при числе исследуемых более 50). Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), границ 95% доверительного интервала (95 % ДИ).

Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение двух групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, при условии равенства дисперсий выполнялось с помощью t-критерия Стьюдента, при неравных дисперсиях выполнялось с помощью t-критерия Уэлча. Статистический анализ проведен с использованием SPSS.

### Результаты

В 2020 году обратилось 151 человек и 289 в 2019 году с ОИМ в региональный сосудистый центр (РСЦ), при этом было в 2019 году 162 человека с НУО и 93 пациентов с ОИМ с НУО человека в 2020 году. Имеется значимое снижение количества госпитализаций по поводу ОИМ в РСЦ на 47 %.

В среднее время доставки от боли до двери во время пандемии было значительно больше, чем в период до пандемии (812 (355, 1850) против 380 (131, 755) мин,  $p=0,02$ ). Среди лиц ОИМ и НУО в 2020 году было 56 (60 %) и в 2019 году 46 (28 %) пациентов, которые обратились через 12 часов после начала боли в пандемическую и препандемическую эпохи ( $p=0,011$ ). У пациенты с НУО значительной задержки времени от двери до реперфузии не было ( $p=0,98$ ).

Распределение пациентов по возрастным группам было одинаковым между двумя периодами без существенных различий между полами ( $p = 0,100$ ), таблица 1. Имеются значимые отличия по показателю койко-день в 2020 году, что было обусловлено эпидемиологическими протокола в период пандемии НКВИ, таблица 1. Доля пожилых пациентов и женщин была выше в группе с НУО, чем в группе без НУО ( $p = 0,002$ ).

При анализе показателей общего анализа крови у пациентов 2019 и 2020 годов также были выявлены различия, таблица 2. Повышенный уровень лейкоцитов и скорости оседания эритроцитов у пациентов ОИМ с НУО в 2020 году говорят о возможном системном воспалении и бессимптомном течении НКВИ.

При анализе показателей биохимического анализа крови у пациентов 2019 и 2020 годов также были выяв-

лены различия, таблица 3. Следует отметить значимое снижение показателей очищения крови скорости клубочковой фильтрации (СКФ) в 2020 году, что объясняется бесконтрольным приемом нефротоксических препаратов в период «второй» волны НКВИ 2020 года, а также тяжестью коморбидного пациента ОИМ с НУО. Уровни глюкозы в обоих годах были сопоставимы, имеется незначимое отличие в сторону повышения в группе 2020 года.

Таблица 1.

Показатели пациентов с ОИМ и НУО в периоды до пандемии 2019 года и пандемии 2020 года

Показатели	Группа 2019 с НУО (n=162)		Группа 2020 с НУО (n=93)		p
	M±SD	95 % ДИ	M±SD	95 % ДИ	
Возраст	64,86±12,90	62,89–66,82	67,38±11,30	65,09–69,66	0,112
Койко-дни	11±5	10–11	9±3	8–10	0,019*

\* — различия показателей статистически значимы ( $p<0,05$ )

При анализе показателей маркеров некроза миокарда Тропонин I, нг/мл в группе 2019 года составил  $2,659±8,057$ (ДИ 1,405 — 3,913), и 2020 году  $6,301±12,728$  (ДИ 3,605–8,998),  $p=0,016$ ., значимость различий указывает на большее проявления некроза миокарда в группе ОИМ с НУО в 2020 году обусловленного поздним обращением за медицинской помощью.

Время пребывания в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ) и количества дней на искусственной вентиляции легких (ИВЛ) имеют значимые отличия в группах, таблица 4.

### Обсуждение

Неоднократно сообщалось об уникальных тенденциях в отношении обращений в отделение неотложной помощи, связанных с предыдущими вспышками респираторных инфекций. Во время вспышки атипичной пневмонии в 2003 г. наблюдалось снижение общего числа посещений отделения неотложной помощи [14], хотя количество посещений, связанных с респираторными заболеваниями, увеличилось у взрослых и подростков [14,15]. Однако во время пандемии гриппа А в 2009 г. наблюдался заметный всплеск числа обращений в отделение неотложной помощи [16]. Во время эпидемии ближневосточного респираторного синдрома и коронавируса (БВРС-КоВ) в 2015 г. количество несрочных посещений неотложной помощи уменьшилось [17], в то время как в отношении посещений в связи с тяжелыми заболеваниями не было обнаружено никаких изменений [18]. А во время пандемии НКВИ во всем мире и Пермском крае было зарегистрировано существенное снижение

Таблица 2.

Показатели общего анализа крови пациентов с ОИМ и НУО в периоды до пандемии 2019 года и пандемии 2020 года

Показатели	Группа 2019 с НУО (n=162)		Группа 2020 с НУО (n=93)		p
	M±m	95 % ДИ	M±m	95 % ДИ	
Лейкоциты, 10 <sup>9</sup> клеток/л	10,64 ± 3,27	10,13–11,15	11,93 ± 3,97	11,10–12,75	0,009*
Гемоглобин, г/л	137,40 ± 18,92	134,45–140,34	128,40 ± 24,31	123,37–133,44	0,003*
Эритроциты, 10 <sup>12</sup> клеток/л	4,51 ± 0,70	4,40–4,62	4,35 ± 0,76	4,19–4,50	0,079
СО <sub>2</sub> , мм/ч	18,00 ± 14,26	15,79–20,21	24,47 ± 17,70	20,80–28,13	0,003*

\* — различия показателей статистически значимы (p<0,05)

Таблица 3.

Показатели биохимического анализа крови пациентов с ОИМ и НУО в периоды до пандемии 2019 года и пандемии 2020 года

Показатели	Группа 2019 с НУО (n=162)		Группа 2020 с НУО (n=93)		p
	M±m	95 % ДИ	M±m	95 % ДИ	
Глюкоза, ммоль/л	10,63 ± 3,84	10,04–11,23	11,62 ± 6,33	10,31–12,92	0,175
Креатинин, мкмоль/л	100,97 ± 40,04	94,80–107,15	104,56 ± 49,63	94,34–114,78	0,528
СКФ, мл/мин/1,73 м <sup>2</sup>	71,51 ± 24,58	67,63–75,38	63,65 ± 23,57	58,74–68,56	0,014*
Мочевина, ммоль/л	8,51 ± 7,67	7,28–9,74	8,95 ± 4,48	8,01–9,89	0,618
К, ммоль/л	4,33 ± 0,65	4,23–4,43	4,20 ± 0,64	4,07–4,33	0,115
Na, ммоль/л	140,23 ± 5,19	139,43–141,04	137,72 ± 13,94	134,84–140,59	0,040*
Билирубин, мкмоль/л	14,87 ± 9,55	13,37–16,36	15,17 ± 13,25	12,45–17,90	0,831
Общий белок, г/л	74,36 ± 6,61	73,34–75,38	72,41 ± 8,51	70,66–74,17	0,043*

\* — различия показателей статистически значимы (p<0,05)

Таблица 4.

Показатели биохимического анализа крови пациентов с ОИМ и НУО в периоды до пандемии 2019 года и пандемии 2020 года

Показатели	Группа 2019 с НУО (n=162)		Группа 2020 с НУО (n=93)		p
	M±m	95 % ДИ	M±m	95 % ДИ	
Пребывание в ОРИТ, дни	3±1,2	2–4	4 ± 1,5	3–5	0,011*
ИВЛ, дни	2±1,1	2–3	3±1,4	2–4	0,015*

\* — различия показателей статистически значимы (p<0,05)

количества посещений отделения неотложной помощи, и это явление аналогичным образом наблюдалось в подгруппе пациентов с ОИМ [10]. Аналогичным образом, наши результаты показали меньшее количество посещений неотложной помощи у пациентов с ОИМ, и, что особенно важно, было заметное снижение во время первой волны вспышки. Это соответствует предыдущим

отчетам, которые показали снижение посещений в течение первой недели пандемии [19]. Поэтому мы предполагаем, что пациенты должны были особенно бояться заразиться внутрибольничной инфекцией этим странным и незнакомым вирусом. Кроме того, нехватка и закрытие пунктов экстренной помощи могут частично объяснить значительное сокращение числа посещений амбулаторной практики во время второй волны пандемии.

Наше исследование показало, что в период эпидемии объем обращений больных ОИМ в отделение регионального сосудистого центра уменьшился, а тяжесть заболевания увеличилась. Тяжесть заболевания оценивали при выписке из отделения неотложной помощи; доля выполненных основных процедур, таких как интубация и госпитальной летальности. Доля процедур реанимации были выше во время вспышки, чем в контрольный период. Как сообщалось ранее, увеличение частоты интубации у пациентов с ОИМ, перенесших реваскуляризацию, может отражать более высокую частоту остановки сердца [20]. Это увеличение тяжести заболевания может быть связано с факторами, связанными

ми с ситуацией, или с прямыми факторами, связанными с инфекцией во время пандемии. Ограниченный доступ к системе неотложной амбулаторной медицинской помощи и нежелание пациентов посещать отделение неотложной помощи из-за НКВИ могли задержать время прибытия в отделение РСЦ, как это наблюдалось в нашем исследовании и других предыдущих исследованиях [10,20]. Таким образом, пациенты с относительно высоким риском могли обратиться в отделение РСЦ в период вспышки. Помимо задержки посещения отделения неотложной помощи, сообщалось о задержке времени реваскуляризации и меньшей доле процедур, выполненных во время вспышки, что в совокупности могло привести к усилению тяжести заболевания [21].

Другим важным выводом этого исследования является то, что СД усугублял клиническое течение пациентов с ОИМ во время пандемии, что еще не оценивалось в других исследованиях. Хорошо известно, что СД является распространенным неблагоприятным прогностическим фактором в случаях НКВИ [22]. Как и ожидалось, пациенты с коморбидным СД и ОИМ имели более высокую тяжесть заболевания во время пандемии (более высокие показатели длительности госпитализации в реанимации и ИВЛ), чем у пациентов с ОИМ, но без СД. Различные барьеры для доступа к медицинским услугам из-за НКВИ ограничивают посещение пациентами СД больниц для рутинного наблюдения и доступа к их рецептам, что, как правило, затрудняет их регулярное лечение диабета [23]. Полноценный уход за пациентами с СД имеет решающее значение для снижения частоты осложнений и улучшения выживаемости [24]; следовательно, нарушение рутинной практики оказания медицинской помощи во время пандемии могло отрицательно сказаться на кон-

троле основных факторов риска, таких как артериальное давление, вес и клинико-лабораторные показатели [23], что усугубляет тяжесть осложнений, в том числе сердечно-сосудистых заболеваний. В настоящий момент требуется особое внимание следует больным с сочетанными тяжелыми сопутствующими заболеваниями.

## Выводы

С особым акцентом на влияние сопутствующего СД у пациентов с ОИМ во время пандемии НКВИ. Мы наблюдали снижение числа пациентов с ОИМ, поступающих в отделение РСЦ в период вспышки НКВИ, по сравнению с предыдущим годом. Кроме того, в период вспышки по сравнению с контрольным периодом была отмечена значительно более длительная продолжительность как появления симптомов до посещения отделения неотложной помощи, в дополнение был более высокий показатель реанимации, вентиляции легких. Эти данные присутствовали и усугублялись у пациентов с ОИМ и сопутствующим СД; по сравнению с больными без СД пациенты с ОИМ и сопутствующим СД дольше находились в реанимации. Именно пациенты ОИМ с НУО значительно дольше ждали во время пандемии, чтобы обратиться за медицинской помощью. Эти результаты привели к более чем двукратному увеличению времени от начала болевого синдрома до реваскуляризации в группе инфаркта с НУО, что увеличивает риск будущих осложнений. Данные факт значимое повлиял на клинико-лабораторные показатели тяжести пациентов с инфарктом миокарда на фоне нарушений углеводного обмена, даже при условии отсутствия различий по уровням гликемии этих пациентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Zhu N, Zhang D, Wang W, Li X, Yang B, Song J, et al. A novel coronavirus from patients with pneumonia in China, 2019. *N Engl J Med.* (2020) 382:727–33. doi: 10.1056/NEJMoa2001017.
2. Cucinotta D, Vanelli M. WHO declares COVID-19 a pandemic. *Acta Biomed.* (2020) 91:157–60. doi: 10.23750/abm.v91i1.9397.
3. ВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОФИЛАКТИКА, ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ НОВОЙ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ (COVID-19), 8 версия.
4. Lee DE, Ro YS, Ryoo HW, Moon S. Impact of temporary closures of emergency departments during the COVID-19 outbreak on clinical outcomes for emergency patients in a metropolitan area. *Am J Emerg Med.* (2021) 47:35–41. doi: 10.1016/j.ajem.2021.03.038.
5. Lange SJ, Ritchey MD, Goodman AB, Dias T, Twentyman E, Fuld J, et al. Potential indirect effects of the COVID-19 pandemic on use of emergency departments for acute life-threatening conditions—United States, January–may 2020. *Am J Transplant.* (2020) 20:2612–7. doi: 10.1111/ajt.16239
6. Sung CW, Lu TC, Fang CC, Huang CH, Chen WJ, Chen SC, et al. Impact of COVID-19 pandemic on emergency department services acuity and possible collateral damage. *Resuscitation.* (2020) 153:185–6. doi: 10.1016/j.resuscitation.2020.06.021.
7. Venkatesh AK, Janke AT, Shu-Xia L, Rothenberg C, Goyal P, Terry A, et al. Emergency department utilization for emergency conditions during COVID-19. *Ann Emerg Med.* (2021) 78:84–91. doi: 10.1016/j.annemergmed.2021.01.011.
8. Anderson JL, Morrow DA. Acute myocardial infarction. *N Engl J Med.* (2017) 376:2053–64. doi: 10.1056/NEJMra1606915.
9. Solomon MD, McNulty EJ, Rana JS, Leong TK, Lee C, Sung SH, et al. The Covid-19 pandemic and the incidence of acute myocardial infarction. *N Engl J Med.* (2020) 383:691–3. doi: 10.1056/NEJMc2015630.
10. К.В. Прохоров. Задержка оказания медицинской помощи пациентам с острым инфарктом миокарда во время пандемии COVID-19 / К.В. Прохоров, Н.А. Корягина, Г.Н. Спасенков [и др.] // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2021. — № 8. — С. 202–205.
11. de Almeida-Pititto B, Dualib PM, Zajdenverg L, Dantas JR, de Souza FD, Rodacki M, et al. Severity and mortality of COVID 19 in patients with diabetes, hypertension and cardiovascular disease: a meta-analysis. *Diabetol Metab Syndr.* (2020) 12:75. doi: 10.1186/s13098-020-00586-4.

12. Kristian Thygesen, Joseph S Alpert, Allan S Jaffe, Bernard R Chaitman, Jeroen J Bax, David A Morrow, Harvey D White, ESC Scientific Document Group; Fourth universal definition of myocardial infarction (2018), *European Heart Journal* <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy462>.
13. Дедов И.И., Шестакова М.В. «Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом» Под редакцией И.И. Дедова, М.В. Шестаковой, А.Ю. Майорова 9-й выпуск. *Сахарный диабет*. 2019;22(151):1-144. <https://doi.org/10.14341/DM22151>.
14. Heiber M, Lou WY. Effect of the SARS outbreak on visits to a community hospital emergency department. *CJEM*. (2006) 8:323–8. doi: 10.1017/s148180350001397x.
15. Miroballi Y, Baird JS, Zackai S, Cannon JM, Messina M, Ravindranath T, et al.. Novel influenza a (H1N1) in a pediatric health care facility in new York City during the first wave of the 2009 pandemic. *Arch Pediatr Adolesc Med*. (2010) 164:24–30. doi: 10.1001/archpediatrics.2009.259
16. Rubinson L, Mutter R, Viboud C, Hupert N, Uyeki T, Creanga A, et al.. Impact of the fall 2009 influenza a (H1N1)pdm 09 pandemic on US hospitals. *Med Care*. (2013) 51:259–65. doi: 10.1097/MLR.0b013e31827da8ea.
17. Paek SH, Kim DK, Lee JH, Kwak YH. The impact of Middle East respiratory syndrome outbreak on trends in emergency department utilization patterns. *J Korean Med Sci*. (2017) 32:1576–80. doi: 10.3346/jkms.2017.32.10.1576.
18. Lee SY, Khang YH, Lim HK. Impact of the 2015 Middle East respiratory syndrome outbreak on emergency care utilization and mortality in South Korea. *Yonsei Med J*. (2019) 60:796–803. doi: 10.3349/ymj.2019.60.8.796.
19. Tam CF, Cheung KS, Lam S, Wong A, Yung A, Sze M, et al. Impact of coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak on ST-segment-elevation myocardial infarction Care in Hong Kong. *China Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. (2020) 13:e006631. doi: 10.1161/circoutcomes.120.006631.
20. Baldi E, Sechi GM, Mare C, Canevari F, Brancaglione A, Primi R, et al.. Out-of-hospital cardiac arrest during the Covid-19 outbreak in Italy. *N Engl J Med*. (2020) 383:496–8. doi: 10.1056/NEJMc2010418.
21. Yamaji K, Kohsaka S, Inohara T, Numasawa Y, Ando H, Wada H, et al.. Percutaneous coronary intervention during the COVID-19 pandemic in Japan: insights from the nationwide registration data. *Lancet Reg Health West Pac*. (2022) 22:100434. doi: 10.1016/j.lanwpc.2022.100434.
22. Wu Z, McGoogan JM. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *JAMA*. (2020) 323:1239–42. doi: 10.1001/jama.2020.2648.
23. Mohseni M, Ahmadi S, Azami-Aghdash S, Mousavi Isfahani H, Moosavi A, Fardid M, et al.. Challenges of routine diabetes care during COVID-19 era: a systematic search and narrative review. *Prim Care Diabetes*. (2021) 15:918–22. doi: 10.1016/j.pcd.2021.07.017.
24. Holman N, Knighton P, Okeefe J, Wild SH, Brewster S, Price H, et al.. Completion of annual diabetes care processes and mortality: a cohort study using the National Diabetes Audit for England and Wales. *Diabetes Obes Metab*. (2021) 23:2728–40. doi: 10.1111/dom.14528.

---

© Мальцев Алексей Ильич (1412131@mail.ru); Корягина Наталья Александровна (nina11-85@mail.ru);  
Корягин Владимир Сергеевич (vladimirkoryagin12@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НЕМЕДИКАМЕНТОЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КОРРЕКЦИИ ПОСТИНСУЛЬТНЫХ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНЫХ РАССТРОЙСТВ

## EXPERIENCE OF APPLICATION OF NON-DRUG TECHNOLOGIES IN THE CORRECTION OF POST-STROKE PSYCHOEMOTIONAL DISORDERS

**E. Molchanova  
O. Goncharova  
L. Reshetnikova**

*Summary.* One of the factors that significantly worsen the condition of post-stroke patients is the addition of psycho-emotional disorders. The aim of the research was to study the structure of anxiety-depressive disorders in 210 patients in the acute period of ischemic stroke and to evaluate the effectiveness of various reflexotherapy methods in their correction. Signs of depression (according to the Beck scale) were detected in 72 % of the tested patients. The level of reactive anxiety (according to the Spielberger–Khanin scale) in 75.7 % reached the level of moderate and high (exceeded 30 points) and in 64.8 % was recorded against the background of high personal anxiety. According to the data of the A. Rean's questionnaire, the motivational pole was not clearly expressed (average  $12.7 \pm 0.4$ ). On the 15th day in the main group (140 patients who received reflexotherapy procedures in addition to the standard rehabilitation complex), the frequency and severity of post-stroke depression significantly decreased ( $p < 0.001$ ) (on average by 4.9 points, 30 %), reactive anxiety decreased by an average of 8.5 points (22 %,  $p < 0.001$ ), the level of motivation significantly ( $p < 0.001$ ) increased (by 2.3 points, 18 %), and patients were already focused on success, while in the comparison group (70 patients who received a standard set of rehabilitation measures) there were no significant changes. The best indicators were obtained with the use of combined methods of reflexotherapy, somewhat lower — in the case of the use of separate methods (dynamic electroneurostimulation and Su Jok acupuncture).

*Keywords:* ischemic stroke, post-stroke depression, reactive anxiety, motivation, reflexotherapy.

**В** остром периоде инсульта одним из усугубляющих состояние больных факторов является развитие психоэмоциональных расстройств в виде тревоги, депрессии и снижения уровня мотивации [1, 5, 9]. Постинсультная депрессия (ПД), распространённость которой на этапе стационарного лечения, по разным данным, колеблется от 30 до 60 % [2, 4, 5, 7, 14] диагностируется далеко не во всех случаях. Она способна не только оказывать негативное влияние на процесс реабилитации, замедляя восстановление утраченных функций, усугубляя когнитивные нарушения и тем са-

**Молчанова Елена Евгеньевна**

доктор медицинских наук, профессор, Амурская государственная медицинская академия  
helendok@mail.ru

**Гончарова Ольга Михайловна**

кандидат медицинских наук, доцент, Амурская государственная медицинская академия

**Решетникова Лариса Константиновна**

кандидат медицинских наук, ассистент, Амурская государственная медицинская академия

*Аннотация.* Одним из факторов, значительно ухудшающих состояние постинсультных больных, является присоединение психоэмоциональных расстройств. Целью исследования явилось изучение структуры тревожно-депрессивных расстройств у 210 пациентов в остром периоде ишемического инсульта, и оценка эффективности различных методов рефлексотерапии в их коррекции. Признаки депрессии (по шкале Бека) были выявлены у 72 % прошедших тестирование больных, уровень реактивной тревожности (по шкале Спилбергера–Ханина) в 75,7 % достигал уровня умеренной и высокой (превышал 30 баллов) и в 64,8 % был зафиксирован на фоне высокой личностной тревожности. Согласно данным опросника МУН, мотивационный полюс ярко не был выражен (в среднем  $12,7 \pm 0,4$ ). На 15-й день в основной группе (140 больных, получавших кроме стандартного реабилитационного комплекса процедуры рефлексотерапии) частота и выраженность постинсультной депрессии достоверно уменьшились ( $p < 0,001$ ) (в среднем на 4,9 балла, 30 %), реактивная тревожность снизилась в среднем на 8,5 балла (22 %,  $p < 0,001$ ), уровень мотивации достоверно ( $p < 0,001$ ) повысился (на 2,3 балла, 18 %), и пациенты были ориентированы уже на успех, в то время как в группе сравнения (70 больных, получавших стандартный комплекс реабилитационных мероприятий) достоверных изменений не произошло. Наилучшие показатели получены при применении комбинированных методик рефлексотерапевтического воздействия, несколько ниже — в случае применения отдельных техник (динамическая электростимуляция и су джок акупунктура).

*Ключевые слова:* ишемический инсульт, постинсультная депрессия, реактивная тревожность, мотивация, рефлексотерапия.

мым снижая качество жизни и мотивацию пациентов к реабилитационной терапии, но и, в конечном итоге, повышает риск смертности у постинсультных больных [7] и может зависеть от тяжести неврологической симптоматики [3]. Следовательно, своевременное выявление и коррекция психоэмоциональных расстройств, в частности ПД способны напрямую влиять на быстроту и качество реабилитации пациентов в остром периоде ишемического инсульта ИИ [6]. Не всегда достаточная эффективность, высокая стоимость медикаментозной антидепрессивной терапии, риск развития побочных

эффектов в свете нарастающей аллергизации населения делает все более популярным и клинически оправданным применение немедикаментозных методов в комплексной терапии психоэмоциональных нарушений, в частности разработка и совершенствование технологий применения рефлексотерапии. Акупунктура не только обладает выраженным лечебным воздействием, сравнимым с эффектом психотропных средств, но без явных побочных реакций [11], но и способна усиливать действие антидепрессантов при совместном применении [8]. В публикациях встречаются различные сочетания точек акупунктуры при психоэмоциональных расстройствах. Так эффективность точек Bǎihuì (GV 20), Shéntíng (GV 24), Yǎmén (GV 15) и Dànzhōng (CV 17), Gānshū (BL 18), Xīnshū (BL 15), Shènshū (BL 23), Tàichōng (LR 3), Tàixī (KI 3), Shénmén (HT 7) и Nèiguān (PC 6) превосходила воздействие эсциталопрама оксалата [18], электроакупунктура в точках Bǎihuì (GV20) и Fēngfǔ (GV16) и Xīnshū (BL15) и Shénmén (HT7) показала аналогичный пероральному применению пароксетина эффект, но с меньшим количеством побочных реакций [12], отмечен специфический регуляторный эффект точек Bǎihuì (GV20) и Shéntíng (GV24) сосуда ду-май при ПД [15]. Доказана высокая эффективность акупунктуры кожи головы (89,6 %) в сравнении с медикаментозной терапией (71,4 %) при ПД [16], особенно при психической и соматической тревоге [13], электростимуляции точек в области лба при психоневрологических последствиях инсульта [20].

Таким образом, акупунктура улучшает когнитивный и психоэмоциональный статус больных, перенесших инсульт, причем без явных серьезных побочных эффектов [10]. Следовательно, разработка рефлексотерапевтических технологий для коррекции психоэмоциональных нарушений не только сохраняет актуальность, но и требует дальнейших исследований для поиска наиболее эффективных.

Целью исследования явилось изучить структуру психоэмоциональных расстройств у пациентов в остром периоде ишемического инсульта и оценить эффективность различных методов рефлексотерапевтического воздействия и их сочетанного применения в их коррекции.

### Материалы и методы

В исследовании, проведенном на базе первичного сосудистого отделения ГАУЗ АО «Благовещенская городская клиническая больница», приняли участие 210 пациентов в остром периоде ИИ, из которых 140 (основная группа) кроме стандартного реабилитационного комплекса получали процедуры рефлексотерапии, и 70 больных группы сравнения, соответствующих основной по гендерным, возрастным показателям, типу и степени тяжести ИИ, также получавших стандартную реабилитацию, но без включения методов рефлексотерапии.

Средний возраст пациентов в основной группе составил  $63,1 \pm 0,9$  и в группе сравнения —  $64,1 \pm 0,9$  года. Отмечено незначительное преобладание мужчин в обеих группах (52 и 48 % и 51 и 49 % соответственно). Критериями исключения из исследования явились прием антидепрессантов, выраженные речевые и двигательные расстройства, препятствующие проведению тестирования.

Для детальной оценки степени выраженности неврологических нарушений и тяжести инсульта использовалась шкала инсульта Американского национального института здоровья — NIHSS (National Institutes of Health Stroke Scale). Для оценки активности больного в повседневной жизни применялся индекс Barthel (Barthel ADL index). По всем вышеописанным критериям пациенты обеих групп исследования на момент начала реабилитационных мероприятий достоверно не отличались. Для выявления и оценки степени тяжести депрессии проводилось тестирование по шкале депрессии Бека. Оценка выраженности реактивной (РТ) и личностной (ЛТ) тревожности проводилась по шкале тревоги Спилбергера-Ханина. Мотивация пациентов исследовалась при помощи опросника МУН.

Методы рефлексотерапии подключались не позднее 3–5 дня пребывания пациентов в стационаре, причем в зависимости от применяемых методик и их сочетания все больные были распределены в 7 подгрупп: пациенты, получавшие динамическую электронейростимуляцию (ДЭНС) (1 подгруппа), су джок терапию (2 подгруппа), ДЭНС в сочетании с классической акупунктурой (3 подгруппа), су джок в сочетании с краниопунктурой по методике Yu Zhi Shun [19] и аурикулопунктурой (4 подгруппа), классическую акупунктуру в сочетании с пролонгированной краниопунктурой (по методике Yu Zhi Shun [19] в модификации Tang Qiang [17], КНР) и аурикулопунктурой (5 подгруппа), классическую акупунктуру в сочетании с краниопунктурой (по методике Yu Zhi Shun, КНР [19]) и аурикулопунктурой (6 подгруппа) и классическую акупунктуру в сочетании с краниопунктурой по общепринятой методике и аурикулопунктурой (7 подгруппа). Для коррекции психоэмоциональных расстройств в рецептуру классической акупунктуры включались точки каналов Сердца, Перикарда, Печени, Почек и Селезенки: LR (XII) 3 тай-чун, LR (XII) 2 син-цзянь, HT (V) 7 шэнь-мэнь, PC (X) 6 нэй-гуань, SP (IV) 6 сань-инь-цзяо, KI (VIII) 3 тай-си, а также BL (VII) 15 синь-шу, BL (VII) 18 гань-шу, BL (VII) 20 пи-шу, BL (VII) 23 шэнь-шу, ST (III) 36 цзу-сань-ли, ST (III) 40 фэн-лун, GB (XI) 39 сюань-чжун, GV (XIII) 24 шэнь-тин, GV (XIII) 20 бай-хуэй и др. в различных сочетаниях в зависимости от основного клинического синдрома с позиции теории традиционной китайской медицины. На ушной раковине укалывали по 1-2 точки на процедуру (AP 55 шэнь-мэнь, AP 95 почка, AP 100 сердце, AP 51 ВНС, AP 29 затылок). Сеансы проводились ежедневно, состояние больных оценивалось в динамике после 10 процедур.

Статистическая обработка данных проводилась с помощью пакета программ Microsoft Office 2013 (Excel) и StatSoft STATISTICA 10.0.1011.0 Russian Portable. Для данных с нормальным распределением вычисляли выборочное среднее ( $M$ ), среднеквадратичное отклонение и стандартную ошибку выборочного среднего ( $m$ ). При сравнении выборочных средних для двух групп данных с нормальным распределением использован критерий Стьюдента. Различия считались достоверными при  $p < 0,05$ .

### Результаты

Первичный анализ уровня тревоги и депрессии у пациентов, перенесших ИИ, показал значительное превышение показателей здоровых лиц. У 72 % прошедших тестирование были выявлены признаки депрессии, примерно с одинаковой частотой в основной (73 %) и группе сравнения (70 %). В структуре пациентов с выявленными признаками депрессии легкие депрессивные расстройства выявлены в 38,4 %, умеренная депрессия — у 17,9 %, выраженная — у 37,1 % и в 6,6 % случаев — тяжелая депрессия. При оценке структуры депрессивного синдрома было установлено, что на первый план выступала тревога и астенические явления, соматовегетативная симптоматика с преобладанием расстройств сна. При этом больные, как правило, сохраняли критику к своему состоянию.

Уровень РТ на момент начала реабилитационных мероприятий был достаточно высоким и в 75,7 % (78 % и 71 % в основной и группе сравнения соответственно) достигал уровня умеренной и высокой (выше 30 баллов). Причем в 64,8 % (68 % случаев в основной и 59 % в группе сравнения) все описанные изменения зафиксированы на фоне высокой ЛТ (выше 46 баллов), что подтверждает значение преморбидных особенностей личности в развитии тревожно-депрессивных расстройств. Корреляционный анализ не выявил связи между тяжестью неврологической симптоматики по шкале NIHSS и степенью выраженности тревоги и депрессии ( $p > 0,05$ ).

При исследовании мотивации, согласно данным опросника МУН, было обнаружено, что мотивационный полюс ярко не был выражен (в среднем  $12,7 \pm 0,4$ ) и в обеих группах достоверно не различался.

На 15-й день от начала курса немедикаментозной реабилитации в основной группе частота и выраженность ПД достоверно уменьшились ( $p < 0,001$ ) (по шкале Бека в среднем на 4,9 балла (30 %), и депрессивные расстройства диагностировались уже только у 80 (57 %) пациентов). Изменилась и их структура: легкие депрессивные расстройства (субдепрессия) наблюдались у 50 % (40 человек) от числа больных с депрессивными проявлениями, умеренные — у 32,5 % (26 человек) и выраженная

депрессия (средней тяжести) — у 17,5 % (14 человек). Пациентов с тяжелым уровнем депрессии выявлено не было. Тогда как в группе сравнения депрессивные проявления сохранялись у 47 больных (67 %), уменьшение среднего балла по шкале Бека составило 1,8 балла (12 %), при этом субдепрессия выявлена была у 53 % (25 человек) от числа пациентов с депрессивными проявлениями, умеренная — у 13 % (6 человек), выраженная депрессия — у 24 % (11 человек) и тяжелая — у 10 % (5 человек).

РТ по шкале Спилбергера в основной группе снизилась в среднем на 8,5 балла (22 %,  $p < 0,001$ ), тогда как в группе сравнения достоверных различий показателей выявлено не было (2,1 балла, 6 %). При этом в основной группе преобладали пациенты с низким уровнем РТ — 61 % (85 человек), умеренный уровень выявлен у 37 % (52 человека) и высокий — у 2 % (3 человека). В группе сравнения аналогичные показатели составили 37 % (26 человек), 57 % (40 человек) и 6 % (4 человека) соответственно.

ЛТ в обеих группах сохранялась на высоком уровне, однако в основной группе пациентов отмечена тенденция к ее снижению ( $p = 0,052$ ), значительно снизилась доля высокого уровня ЛТ (с 68 % до 41 %) и повысилась доля низкой ЛТ (с 10 % до 25 %). В группе сравнения преобладали пациенты с умеренным уровнем ЛТ (47 %, 33 человека), высокий уровень наблюдался у 43 % (30 человек) и низкий — у 10 % (7 человек).

Уровень мотивации на фоне лечения у больных основной группы достоверно ( $p < 0,001$ ) повысился (на 2,3 балла, 18 %), и пациенты были ориентированы уже на успех, в то время как в группе сравнения достоверного изменения уровня мотивации не произошло.

Пациенты отмечали субъективное улучшение самочувствия: нормализация сна, уменьшение раздражительности, беспричинной слезливости, физической и психической астенизации. Также больные на фоне повышения двигательной активности стали значительно охотнее общаться с окружающими, было отмечено снижение ипохондрической фиксации пациентов на своём телесном неблагополучии.

Анализ психоэмоционального состояния в динамике показал наилучшие результаты практически по всем шкалам в подгруппах, где стандартный комплекс реабилитации был дополнен комбинированными методиками рефлексотерапии:

— ДЭНС в сочетании с классической акупунктурой (3 подгруппа; разница между показателями составила 37,4 % (6,1 балла,  $p < 0,01$ ) по шкале депрессии Бэка, 31,3 % (10,3 балла,  $p < 0,01$ ) по шкале Спилбергера (уровень РТ) и 15,4 % (2,1 балла,  $p < 0,05$ ) по опроснику МУН);

- су джок акупунктурой в сочетании с корпоральной, аурикулярной и скальптерапией по методике Yu Zhi Shun (4 подгруппа; 40,6 % (6,7 балла,  $p < 0,01$ ), 32,7 % (11 баллов,  $p < 0,01$ ) и 22,1 % (2,7 балла,  $p < 0,01$ ) соответственно);
- корпоральной акупунктурой в сочетании с пролонгированной скальптерапией (по методике Yu Zhi Shun в модификации Tang Qiang, КНР) и аурикулопунктурой (5 подгруппа; 32,1 % (5,3 балла,  $p < 0,01$ ), 27,3 % (10,5 балла,  $p < 0,01$ ) и 22,4 % (2,8 балла,  $p < 0,01$ ) соответственно).

Несколько ниже эффективность отмечена в случае применения отдельных методик:

- динамической электронейростимуляции (1 подгруппа; 25,6 % (5 баллов,  $p < 0,05$ ), 22,5 % (8,6 балла,  $p < 0,05$ ), 18,6 % (2,4 балла,  $p < 0,05$ ) соответственно) и
- су джок акупунктуры (2 подгруппа; 28,6 % (4,6 балла,  $p < 0,05$ ), 28,7 % (10,6 балла,  $p < 0,05$ ) и 16,9 % (2,1 балла,  $p < 0,05$ ) соответственно).

Близкие результаты получены в подгруппах, где сочетали корпоральную акупунктуру со скальптерапией (по методике профессора Yu Zhi Shun, КНР) (6 подгруппа; 31,6 % (4,9 балла,  $p < 0,05$ ), 25,1 % (9,4 балла,  $p < 0,05$ ) и 21,3 % (2,6 балла,  $p < 0,05$ ) соответственно) или крани-

опунктурой по классической методике и аурикулотерапией (7 подгруппа; 28,2 % (4,9 балла,  $p < 0,05$ ), 24,9 % (9,1 балла,  $p < 0,05$ ) и 20,5 % (2,5 балла,  $p < 0,05$ ) соответственно).

Самые низкие результаты отмечены в группе пациентов, которым не применялись методы рефлексотерапии (11,9 % (1,8 балла,  $p > 0,05$ ) по шкале депрессии Бэка, 6,0 % (2,1 балла,  $p > 0,05$ ) по шкале Спилбергера–Ханина (уровень РТ) и 3,2 % (0,5 балла,  $p > 0,05$ ) по опроснику МУН.

Таким образом, оптимизация ранней реабилитации постинсультных больных включением методов рефлексотерапии показала ее высокое антидепрессивное и противотревожное действие в сочетании с повышением уровня мотивации больных на фоне значительного ускорения регресса неврологического дефицита и улучшения адаптации пациентов к повседневной жизни. Сравнительный анализ эффективности различных модификаций рефлексотерапии показал наилучшие показатели при применении комбинированных методик рефлексотерапевтического воздействия, несколько ниже — в случае применения отдельных методик (ДЭНС и су джок акупунктуры), и самые низкие результаты получены у больных, в группе которых методы рефлексотерапии не использовались.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гердт, А.М. Эффективность и безопасность препарата Вальдоксан у пациентов с постинсультной депрессией / А.М. Гердт, Е.А. Губарева, М.В. Крамарчук, В.Д. Гнатышин // Психиатрия и психофармакотерапия им. П.Б. Ганнушкина. — 2011. — № 6. — С. 22–26.
2. Гумерова, Г.Г. Аффективные и когнитивные расстройства пациентов в остром периоде ишемического инсульта (результаты анкетирования) / Г.Г. Гумерова, С.И. Селезнева, Е.Ю. Кравцова // Уральский медицинский журнал. — 2016. — Т. 137. — №4. — С. 76–79.
3. Лукьянчикова, Л.В. Влияние качества жизни на реабилитационный потенциал больных, перенесших ишемический инсульт: дис. ... канд. мед. наук: 14.01.11 / Лукьянчикова Лариса Владимировна. — Челябинск, 2018. — 190 с.
4. Максимова, М.Ю. Постинсультная депрессия как частая медико-социальная проблема / М.Ю. Максимова, Т.Ю. Хохлова, Е.Т. Суанова // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. — 2016. — Т. 116. — №3. — С. 96–103.
5. Маркин, С.П. Депрессивные расстройства в клинической картине мозгового инсульта / С.П. Маркин // Русский медицинский журнал. — 2008. — Т. 16. — № 26. — С. 1753–1758.
6. Парфенов, В.А. Постинсультная депрессия: распространенность, патогенез, диагностика и лечение / В.А. Парфенов // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2012. — №4. — С. 84–88.
7. Старчина, Ю.А. Постинсультная депрессия: научно обоснованные подходы к выбору терапии / Ю.А. Старчина // Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. — 2012. — Том 4. — № 1. — С. 116–120.
8. Ai, C.-qi. Therapeutic observation of cranial suture acupuncture in treating depression / C.-qi Ai, Q.-bo Wang, X. Wang, Y. Wang, S.-m. Chen, X. Chen // Journal of Acupuncture and Tuina Science. — 2018. — Vol. 16. — Issue 3. — P. 161–166.
9. Cai, W. Post stroke depression and risk of stroke recurrence and mortality: A systematic review and meta-analysis / W. Cai, C. Mueller, Y.-J. Li, W.-D. Shen, R. Stewart // Ageing Research Reviews. — 2019. — Vol. 50. — P. 102–09. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2019.01.013>
10. Hung, C.Y. Overview of systematic reviews with meta-analyses on acupuncture in post-stroke cognitive impairment and depression management / C.Y. Hung, X. Wu, V.C. Chung, E.C. Tang, J.C. Wu, A.Y. Lau // Integrative Medicine Research. — 2019. — Vol. 8. — Issue 3. — P. 145–159.
11. Li, M. Effect of Tiaoshen Kaiqiao acupuncture in the treatment of ischemic post-stroke depression: a randomized controlled trial / M. Li, B. Zhang, Z. Meng, T. Sha, Y. Han, H. Zhao, C. Zhang // Journal of Traditional Chinese Medicine. — 2017. — Vol. 37. — Issue 2. — P. 171–178.
12. Liu, R. Electroacupuncture for post-stroke anxiety disorder on the base of the heart-brain theory: A randomized controlled trial / R. Liu, S. Chen, J. Wang // World Journal of Acupuncture — Moxibustion. — 2020. — Vol. 30. — Issue 1. — P. 23–28.
13. Liu, Y. Effects of acupuncture combined with rehabilitation on mental and quality of life of patients with mild depression after stroke / Y. Liu, R. Qi, J. Liu, G. Zhang, H. Zhang, C. Shan // Journal of the Neurological Sciences. — 2019. — Vol. 405, Supplement, 15. — P. 102.

14. Paolucci, S. Epidemiology and treatment of post-stroke depression / S. Paolucci // *Neuropsychiatr Dis Treat.* — 2008. — № 4(1). — P. 145–154.
15. Qian, L. Mechanism of the acupoints of the governor vessel in treatment of post-stroke depression on the base of the specificity of meridian points / L. Qian, Y. Jiang, F. Lin // *World Journal of Acupuncture — Moxibustion.* — 2019. — Vol. 29. — Issue 3. — P. 244–248.
16. Song, Y. Clinical observation of depression following cerebral apoplexy treated by scalp-acupuncture / Y. Song, H-r. Liang // *Journal of Acupuncture and Tuina Science.* — 2003. — Vol. 1. — Issue 5. — P. 15–16.
17. Tang, Q. Treatment and rehabilitation of strokes with acupuncture / Q. Tang. — Province Heilongjiang publishing house of education, 2012. — 171 p. (in Chinese).
18. Wang, Y. Evaluation of the curative effect of acupuncture manipulation of regulating governor vessel and unblocking brain on the patients with post stroke depression associated with anxiety / Y. Wang, Y. Han, Y. Hu, L. Zhang // *World Journal of Acupuncture — Moxibustion.* — 2018. — Vol. 28. — Issue 1. — P. 4–9.
19. Yu, Z.S. Study of the way of acupuncture according to methods of scalp acupuncture in stroke treatment / Z.S. Yu, X.B. Sai, H.M. Yu // *Zhen Jiu.* — 1993. — P. 36–37 (in Chinese).
20. Zhang, Z.J. A patient-assessor blinded, randomized controlled trial of comprehensive acupuncture therapy for neuropsychiatric sequelae of stroke / Z.J. Zhang // *Journal of the Neurological Sciences.* — 2019. — Vol. 405. — P. 5.

---

© Молчанова Елена Евгеньевна (helendok@mail.ru); Гончарова Ольга Михайловна; Решетникова Лариса Константиновна

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКРОДОНТНЫХ ЗУБНЫХ ДУГ ДОЛИХОГНАТИЧЕСКОГО ТИПА

### THE RESULTS OF THE STUDY OF MACRODONT DENTAL ARCHES OF THE DOLICHOGNATHIC TYPE

**M. Rozhkova  
S. Pavlova  
N. Vasilyeva  
S. Fischev  
A. Sevastyanov  
A. Shtorina  
M. Puzdyreva  
A. Kondratyuk**

*Summary.* Research methods for the diagnosis of various types of dental arch anomalies in people with macrodontal dolichognathic variants of dental arches are of great importance. The features of the structure of the maxillofacial region have individual characteristics and different ratios of the dental arches of both jaws, which affects the results of treatment in the clinic of orthodontics and orthopedic dentistry.

*Keywords:* orthodontics, orthopedics, malocclusion, dolichognathia, macrodont dental arches.

**Рожкова Мария Геннадьевна**

Ассистент, Санкт-Петербургский государственный  
педиатрический медицинский университет  
rozmaria2010@yandex.ru

**Павлова Светлана Георгиевна**

К.м.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный  
педиатрический медицинский университет  
svetap\_75@mail.ru

**Васильева Нелли Александровна**

Ассистент, Санкт-Петербургский государственный  
педиатрический медицинский университет  
vas.nell@yandex.ru

**Фищев Сергей Борисович**

Д.м.н., профессор, Санкт-Петербургский  
государственный педиатрический  
медицинский университет  
super.kant@yandex.ru

**Севастьянов Аркадий Владимирович**

Д.м.н., профессор, Санкт-Петербургский  
государственный педиатрический  
медицинский университет  
ardy.dkr@mail.ru

**Шторина Анастасия Александровна**

К.м.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный  
педиатрический медицинский университет  
nastiya78@mail.ru

**Пузырева Маргарита Николаевна**

К.м.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный  
педиатрический медицинский университет  
seven-spb@yandex.ru

**Кондратюк Андрей Александрович**

К.м.н., ассистент, Санкт-Петербургский  
государственный педиатрический  
медицинский университет  
kondratyuk.andrey@icloud.com

*Аннотация.* Методы исследования для диагностики различных видов аномалий зубных дуг у людей с макродонтными долихогнатическими вариантами зубных дуг имеют важное значение. Особенности строения челюстно-лицевой области имеет индивидуальные особенности и различные соотношения зубных дуг обеих челюстей, что влияет на результаты лечения в клинике ортодонтии и ортопедической стоматологии.

*Ключевые слова:* ортодонтия, ортопедия, аномалии прикуса, долихогнатия, макродонтные зубные дуги.

Размеры зубных дуг определяются соответствием размеров зубов параметрам зубных дуг и основываются на измерении как отдельных зубов, так и/или групп зубов и последующим соотношением с предложенными дентальными и интердентальными индексами и коэффициентами [1, 2, 3, 4]. Для оценки трансверсаль-

ных и сагиттальных линейных размеров зубных дуг проводятся методы (Pont, Linder и Harth; Korkhaus) [5, 6]. Часто возникают несоответствия индексных величин при оценке указанных методов (Pont и Linder-Harth), что усложняет интерпретацию результатов исследования. В современной литературе нет конкретных рекомендаций при

каких вариантах формы зубных дуг эти методы рекомендуют использовать в клинике ортодонтии [7, 8, 9, 10].

Таким образом, актуальность настоящего исследования очевидна, а все изложенное выше предопределило цель работы.

### Цель исследования

Повышение эффективности диагностики зубочелюстных аномалий за счет оптимизации методов исследования при макродонтных долихогнатических типах зубных дуг с учетом индивидуальных особенностей челюстно-лицевой области.

### Материалы и методы исследования

Мы проводили исследования 28 лиц, имеющих макродонтные зубные дуги с долихогнатическим типом лица. У людей с макродонтым долихогнатическим вариантом формы зубных дуг дентальный индекс верхней челюсти в среднем составлял  $0,99 \pm 0,01$ , для нижней челюсти индекс дуги был  $1,022 \pm 0,03$ .

### Результаты исследования

Размеры групп зубов у людей исследуемой группы с макродонтым долихогнатическим типом зубных дуг показаны в таблице 1.

Таблица 1.

Размеры групп зубов у людей с макродонтизмом и долихогнатическим типом зубных дуг при физиологическом прикусе

Показатели измерения	Размеры зубов (в мм) на:	
	верхней челюсти	нижней челюсти
Ширина коронок 4 резцов	$32,26 \pm 1,92$	$23,84 \pm 1,78$
Ширина коронок 6 передних зубов	$48,42 \pm 2,37$	$37,46 \pm 1,92$
Ширина коронок 12 зубов	$101,81 \pm 2,59$	$92,96 \pm 2,68$
Ширина коронок 14 зубов	$121,01 \pm 2,93$	$114,1 \pm 2,87$

В результате исследования установлено, что суммарная величина широтного одонтометрического показателя, определяемого как длина верхней зубной дуги, составляла  $121,01 \pm 2,93$  мм, а на нижней челюсти —  $114,1 \pm 2,87$  мм. Достоверных отличий по одонтометрическим показателям у людей с долихогнатическим макродонтым типом зубных дуг по сравнению с другими макродонтными типами, нами не выявлено.

Полученные данные соответствовали параметрам макродонтных зубных дуг, что было подтверждено величиной среднего модуля моляров. Для верхних моляров средний модуль был  $11,005 \pm 0,04$ , для зубов нижней челюсти —  $11,13 \pm 0,06$ .

Отношение длины зубной дуги верхней челюсти к такому же размеру нижних зубов составило 1,061, что может быть использовано в качестве дополнительного критерия определения соответствия размеров верхних и нижних зубов.

Отношение суммы ширины коронок резцов верхней челюсти, к таким же параметрам нижней челюсти составило  $1,35 \pm 0,02$  (индекс Tonn).

Отношение суммы ширины коронок 6 передних зубов нижней и верхней челюсти (переднее соотношение по Bolton) составило  $77,36 \pm 1,45$ . Достоверных отличий, по сравнению с авторскими величинами и результатов, полученных у людей с другими макродонтными типами зубных дуг, нами не выявлено.

Отношение суммы ширины коронок 12 передних зубов нижней и верхней челюсти (полное соотношение по Bolton) составило  $91,32 \pm 1,38$ . Достоверных отличий, по сравнению с авторскими величинами и результатов, полученных у людей с макродонтными мезогнатическими и брахиогнатическими типами зубных дуг, нами не выявлено.

Полученные индексы соответствовали норме и свидетельствовали о соразмерности зубов обеих челюстей.

Предложенная нами оценка соразмерности величин 14 зубов обеих челюстей показала, что процентное отношение размеров нижних зубов к верхним составило  $94,28 \pm 1,76$  %, что может быть использовано в качестве дополнительного критерия определения соответствия указанных величин.

Ширина коронок 4 резцов верхней челюсти позволила нам рассчитать ширину зубных дуг по методам Pont и Linder-Harth (L-H), оценить глубину зубной дуги по методу Korkhaus. Кроме того, оценивали равенство сегментов по Gerlach.

Результаты исследования зубных дуг с использованием общепринятых методов представлены в таблице 2.

Результаты исследования показали, что при физиологическом прикусе у людей с макродонтными долихогнатическими формами зубных дуг широтные показатели зубных дуг отличались от расчетных значений, определяемых по общепринятым методам.

Так, ширина зубной дуги в области премоляров была меньше, чем рассчитанная по методу Pont и для верхней челюсти разница составляла  $4,12 \pm 0,82$  мм, а для нижней дуги полученные значения были меньше на  $4,31 \pm 0,93$  мм.

В области верхних моляров разницы в авторских показателях и полученных у людей группы сравнения

Таблица 2.

Основные линейные размеры макродонтных долихогнатических зубных дуг у людей группы сравнения

Параметры зубных дуг	Размеры зубной дуги (в мм) на челюсти:			
	верхней		нижней	
	расчетные	фактические	расчетные	фактические
Ширина в области премоляров по Pont	40,33±1,88	36,21±2,23	40,33±1,88	36,01±1,75
Ширина в области моляров по Pont	50,41±2,13	45,59±2,34	50,41±2,13	49,89±1,97
Ширина в области премоляров по L-H	36,21±1,72	36,21±2,23	36,21±1,72	36,01±1,75
Ширина в области моляров по L-H	45,59±2,08	45,59±2,34	45,59±2,08	49,89±1,97
Глубина переднего отдела по Korkhaus	18,5±0,49	18,9±0,54	16,5±0,49	16,73±0,71

на верхней челюсти составила  $4,82 \pm 0,53$  мм, на нижней челюсти ширина зубной дуги в области моляров соответствовала расчетным показателям по методу Pont.

Следует отметить, что трансверсальный параметр верхней и нижней дуг в области премоляров и моляров не соответствовала и расчетным показателям Linder и Harth.

Таким образом, при обследовании людей с макродонтными долихогнатическими формами зубных дуг индексы Pont и Linder — Harth для прогнозирования трансверсальных размеров челюстей недостаточно информативны.

Размеры обеих челюстей в сагитальном направлении были несколько больше расчетных величин, и глубина переднего отдела для верхней дуги составляла  $18,9 \pm 0,54$  мм. На нижней челюсти показатель был  $16,5 \pm 0,49$  мм, что было обусловлено протрузионным положением передних зубов, характерным для долихогнатических макродонтных типов зубных дуг.

Длина бокового сегмента по Gerlach для верхней дуги составила  $35,38 \pm 1,97$  мм, а для нижней —  $34,59 \pm 1,82$  мм, что несколько превышало размеры переднего отдела зубной дуги, а именно суммы ширины коронок 4 резцов. Полученные данные позволяли использовать данный метод для исследования макродонтных долихогнатических зубных дуг при аномалиях их формы и размеров.

Согласно предложенному нами алгоритму обследования пациентов вначале определяли гнатический тип лица. У обследуемого контингента межкозелковое расстояние ( $t-t$ ) составляло  $140,03 \pm 3,28$  мм, а диагональ гнатической части лица ( $t-sn$ ) была  $133,12 \pm 2,76$  мм. Процентное отношение диагонали лица к его ширине (ГИЛ) составляло  $95,08 \pm 2,62$ , что было свойственно характеристикам долихогнатического типа лица. Величина диагональных размеров соответствовала показателям макродонтного типа гнатической части лица. Таким образом, в рассматриваемой группе были пациенты с макродонтными долихогнатическими типами лица.

При одонтометрии оценивали соразмерность зубов. Соотношение ширины коронки верхнего медиального резца к размерам латерального резца в среднем по группе составляло  $0,8 \pm 0,02$ , что соответствовало нормальным показателям. Отношение мезиально-дистального размера верхнего клыка к аналогичному параметру верхнего медиального резца было  $0,9 \pm 0,04$ , а по отношению к латеральному резцу —  $1,12 \pm 0,09$ , что также свидетельствовало о гармонии размеров передних зубов.

Результаты исследования зубных дуг, с использованием предложенного нами алгоритма показаны в таблице 3.

Трансверсальные размеры зубных дуг, особенно в области моляров, были значительно меньше, чем у людей с мезогнатическими и особенно с брахиогнатическими типами зубных дуг. Тем не менее, диагональные размеры не имели достоверных различий с указанным выше контингентом обследованных, что свидетельствует о том, что диагональные параметры определяются размерами зубов.

Отношение трансверсальных размеров верхней зубной дуги между молярами к такому же показателю нижней зубной дуги составляло  $1,09 \pm 0,04$ , что может быть полезно при анализе аномалий окклюзии и прогнозировании планируемых параметров зубных дуг.

Следует отметить, что расчетные размеры зубных дуг практически соответствовали фактическим величинам, что свидетельствовало об эффективности предложенных методов исследования. Достоверных различий между расчетными и фактическими показателями не обнаружено.

Индекс верхней дуги (отношение глубины дуги к ее ширине) был в пределах  $0,79 \pm 0,01$ , а нижней зубной дуги —  $0,83 \pm 0,03$ , что соответствовало брахиогнатическому типу зубных дуг.

Таким образом, предложенные методы исследования были наиболее близки к основным размерам зубных дуг

Таблица 3.

Основные линейные размеры макродонтных долихогнатических зубных дуг при физиологическом прикусе

Параметры зубных дуг	Размеры зубной дуги (в мм) на челюсти:			
	верхней		нижней	
	расчетные	фактические	расчетные	фактические
Ширина между клыками	37,31±1,55	37,28±1,79	28,52±0,98	28,75±1,49
Ширина между вторыми молярами	60,87±2,38	60,81±2,46	55,34±1,97	55,82±2,63
Глубина до уровня клыков	8,87±0,47	8,94±0,78	7,09±0,55	7,01±0,82
Глубина до уровня моляров	47,67±1,65	48,06±2,09	46,02±1,97	46,51±1,96
Диагональ до уровня клыков	20,88±0,94	21,01±1,32	15,93±1,28	15,96±1,32
Диагональ до уровня моляров	56,55±1,92	55,48±2,24	53,81±1,83	54,07±2,19

постоянного ортогнатического прикуса. Предложенный алгоритм может быть использован в клинике ортодонтии для диагностики различных видов аномалий зубных

дуг у людей с макродонтными долихогнатическими типами лица и зубных дуг.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Агашина М.А. Параметры зубных дуг верхней и нижней челюстей в трансверзальном направлении. / М.А. Агашина, С.Б. Фищев, С.В. Дмитриенко, А.В. Лепилин, Д.Н. Балахничев // *Стоматология детского возраста и профилактика*. — 2017. — Т. XVI — № 1(60). С. 36–39.
- Васильева Н.А. Оценка методов исследования нормодонтных зубных дуг мезогнатического типа / Н.А. Васильева, М.Н. Пузырева, М.Г. Рожкова, С.Б. Фищев и др. // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки»* — 2023. — № 2. — С. 170–174.
- Кондратюк А.А. Особенности размеров зубов у людей с нормодонтным брахиогнатическим типом зубных дуг. / А.А. Кондратюк, М.Н. Пузырева, М.Г. Рожкова, С.Б. Фищев и др. // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки»* — 2023. — № 2. — С. 228–232.
- Пузырева М.Н., Субботин Р.С., Фищев С.Б., Фомин И.В., Кондратюк А.А., Орлова И.В. Дифференциальная диагностика патологических и физиологических видов резцового перекрытия // *Педиатр*. — 2019. — Т. 10. — № 4. — С. 39–44.
- Фищев С.Б. Оценка результатов исследования размеров зубов у людей с нормодонтными долихогнатическими зубными дугами / С.Б. Фищев, А.Г. Климов, А.В. Севастьянов и др. // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки»* — 2023. — № 2-2. — С. 226–230.
- Fishev S.B., Puzdryyova M.N., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in peoples with dental arch issues combined with occlusion anomalies // *Archiv EuroMedica*. — 2019. — Т. 9. — № 1. — P. 162–163.
- Kondratyuk A., Subbotin R., Lepilin A., Puzdrev M., Fishev S., Sevastynov A., Doenyuk D, Rozhkova M. Dependence of facial morphometric parameters from masticatory muscles tone in people with horizontal type of increased dental abrasion // *Archiv euromedica*. — 2019. — vol. 9. Num. 3. — P. 91–96.
- Puzdryyova M.N., Fishev S.B., Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A. Morphological features of dentofacial area in people with dental arch issues combined with occlusion anomalies // *Archiv euromedica*. — 2019. — vol. 9, Num. 1. — P.162–163.
- Shen L. He F., Zhang C. Prevalence of malocclusion in primary dentition in mainland China, 1988–2017: a systematic review and meta-analysis // *Sci. Rep.* — 2018. — Vol. 8. — № 1. — P. 4716.
- Singh S., Sharma A., Sandhu N. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment needs in school going children of Nalagarh, Himachal Pradesh, India // *J. Dent. Res.* — 2016. — Vol. 27. — № 3. — P. 317–322.

© Рожкова Мария Геннадьевна (rozmaria2010@yandex.ru); Павлова Светлана Георгиевна (svetap\_75@mail.ru);  
 Васильева Нелли Александровна (vas.nell@yandex.ru); Фищев Сергей Борисович (super.kant@yandex.ru);  
 Севастьянов Аркадий Владимирович (ardy.dkr@mail.ru); Шторина Анастасия Александровна (nastiya78@mail.ru);  
 Пузырева Маргарита Николаевна (seven-spb@yandex.ru); Кондратюк Андрей Александрович (kondratyuk.andrey@icloud.com)  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОСОБЕННОСТИ СОЧЕТАННОГО ТЕЧЕНИЯ НЕАЛКОГОЛЬНОЙ ЖИРОВОЙ БОЛЕЗНИ ПЕЧЕНИ И ЖЕЛЧНОКАМЕННОЙ БОЛЕЗНИ

## FEATURES OF THE COMBINED COURSE OF NON-ALCOHOLIC FATTY LIVER DISEASE AND CHOLELITHIASIS

I. Ufimtseva  
I. Pirogova  
N. Vereina

**Summary. Introduction:** Pathogenetic therapy of NAFLD and cholelithiasis is determined by a number of predictors that improve the effectiveness of treatment and prognosis.

**Aim:** to identify predictors that affect the effectiveness of treatment of NAFLD and GI and to create a mathematical model for predicting successful therapy.

**Materials and Methods:** 114 people with housing and communal services aged from 18 to 65 years were included, 75 of them were women (65.7 %), and the number of men was 39 people (34.3 %). The average age of the patients was  $48.4 \pm 13.3$  years. The groups are divided by the presence of NAFLD into 2 subgroups (housing with NAFLD — 65 people and housing without NAFLD—49 people). All patients underwent general clinical, biochemical blood tests, abdominal ultrasound, abdominal MSCT, liver elastometry on a fibroskan device with an XL sensor, fibrosis indices (FIB4, APRI) and liver steatosis (FLI) were calculated. All patients were prescribed UDCA 15 mg/kg for 12 months.

**Results and discussion:** in the group with a combination of GI and NAFLD, the indices of OHS, TG, LDL, NOME index, GGTP were statistically higher, BMI, waist circumference and comorbidity index CIRS-G were higher, gallstones of large density and size prevailed. Against the background of UDCA therapy, effective litholysis was achieved in the GI group without NAFLD in 69.4 % of people, as opposed to 33.8 % of people with NAFLD. The outcome of litholysis is most influenced by the eye. The regression of steatosis was most influenced by BMI, waist circumference, blood glucose and FLI index. Regression of steatosis was achieved in 62 %. These predictors are included in the mathematical model of therapy prediction.

**Conclusions:** Therapy with ursodeoxycholic acid is pathogenetically justified in the combined course of NAFLD and GI, taking into account the predictors will allow for regression of steatosis, improve blood metabolic parameters and conduct litholysis of gallstones.

**Keywords:** NAFLD, comorbidity, litholysis, gallstone disease.

**Уфимцева Ирина Владимировна**

врач гастроэнтеролог, ООО Медицинский центр «Лотос», г. Челябинск, ufimtsevaiv77@mail.ru

**Пирогова Ирина Юрьевна**

д.м.н., профессор, ВОРУДН, г. Москва.  
irina\_pirogova@inbox.ru

**Вереина Наталья Константиновна**

д.м.н., профессор, Южно-Уральский государственный медицинский университет  
vereinanata@yandex.ru

**Аннотация. Введение:** Патогенетическая терапия НАЖБП и желчнокаменной болезни определяется рядом предикторов, улучшающих результативность лечения и прогноза.

**Цель работы:** выявить предикторы, влияющие на эффективность лечения НАЖБП и ЖКБ и создать математическую модель прогнозирования успешной терапии.

**Материалы и методы:** Включено 114 человек, с ЖКБ в возрасте от 18 до 65 лет, из них женщин 75 человек (65,7 %), количество мужчин составило 39 человек (34,3 %). Средний возраст пациентов был  $48,4 \pm 13,3$  лет. Все пациенты разделены по наличию НАЖБП на две группы (ЖКБ с НАЖБП — 65 человек и ЖКБ без НАЖБП — 49 человек). Выполнены общеклинические, биохимические анализы крови, УЗИ брюшной полости, МСКТ брюшной полости, эластометрия печени на аппарате фиброскан с датчиком XL, рассчитаны индексы фиброза (FIB4, APRI) и стеатоза печени (FLI). Всем пациентам назначалась УДХК 15 мг/кг (Урсосан форте) на 12 месяцев.

**Результаты исследования:** в группе с сочетанием ЖКБ и НАЖБП были статистически значимо выше показатели ОХС, ТГ, ЛПНП, НОМА индекса, ГГТП, был выше ИМТ, окружность талии и индекс коморбидности CIRS-G, преобладали желчные камни большой плотности и размеров. На фоне терапии УДХК эффективного литолиза удалось достигнуть в группе ЖКБ без НАЖБП у 69,4 % человек в отличие от 33,8 % лиц с НАЖБП. На исход литолиза наибольшее влияние оказали показатели НОМА индекса, индекса коморбидности CIRS-G, размер и плотность желчного камня. На регресс стеатоза оказали наибольшее влияние показатели ИМТ, окружности талии, глюкоза крови и индекс FLI. Регресса стеатоза удалось достигнуть в 62 %. Данные предикторы внесены в математическую модель прогнозирования исхода терапии ЖКБ и НАЖБП.

**Выводы:** Терапия УДХК является патогенетически обоснованной при сочетанном течении НАЖБП и ЖКБ, учет предикторов позволяет добиться регресса стеатоза, улучшить метаболические показатели крови и провести литолиз желчных камней.

**Ключевые слова:** НАЖБП, коморбидность, литолиз, желчнокаменная болезнь.

### Введение

**Ж**елчнокаменная болезнь (ЖКБ) занимает третье место среди всех хронических заболеваний после сердечно-сосудистых заболеваний и сахарного диабета и является одним из самых распространенных заболеваний органов пищеварения (встречается

у 10–30 % населения земли, преимущественно у лиц трудоспособного возраста). В России встречаемость ЖКБ колеблется от 3 до 25 %, частота неалкогольной жировой болезни печени (НАЖБП) достигает 37,2 %. Женщины болеют в несколько раз чаще, чем мужчины. Ежегодно отмечается рост ЖКБ на 0,47 % у мужчин и на 0,67 % у женщин [1]. В связи с эпидемией ожирения в мире

увеличивается и рост заболеваемости ЖКБ и НАЖБП, а стеатоз печени является независимым предиктором холецистолитиаза. Избыточная масса тела во многих исследованиях связана с камнеобразованием и НАЖБП [2-4]. Согласно современным клиническим рекомендациям, ЖКБ и НАЖБП являются многофакторными заболеваниями, обусловленными нарушением обмена холестерина и билирубина и образованием желчных камней [7]. Нарушение липидного обмена, инсулинорезистентность, ожирение и НАЖБП являются факторами прогрессирования образования и роста желчных камней. Механизм камнеобразования в желчном пузыре при наличии НАЖБП может быть запущен нарушением липидного обмена, угнетением окисления жирных кислот и усилением липогенеза [5]. Известно, что у лиц с ЖКБ женского пола и молодого возраста повышен риск развития сердечно-сосудистых и цереброваскулярных заболеваний в будущем [15].

ЖКБ и НАЖБП могут диагностироваться случайно на плановом ультразвуковом исследовании (УЗИ) из-за отсутствия у 70–80 % пациентов клинических проявлений. Чувствительность и специфичность УЗИ составляет 60–94 % и 88–95 % соответственно и снижается по мере увеличения ИМТ [8]. Методика УЗИ позволяет определить размеры желчного пузыря, толщину стенки, наличие желчных камней, жирового гепатоза и липоматоза поджелудочной железы. УЗИ является скрининговым методом исследования для постановки диагноза ЖКБ и НАЖБП, но не определяет плотность желчного камня и степень стеатоза печени. Снимки УЗИ пациентов с сочетанием ЖКБ и НАЖБП представлены на рисунке 1.

Биохимические исследования крови у пациентов с НАЖБП и ЖКБ могут верифицировать признаки нарушения углеводного (гипергликемия натощак или нарушение толерантности к глюкозе) и/или жирового (гиперхолестеринемия, гипертриглицеридемия, дислипидемия) обмена, синдром цитолиза и холестаза [9,10].

Исследование МСКТ брюшной полости в нативном режиме (без контрастирования) в настоящее время является доступным и безопасным методом диагностики ЖКБ и НАЖБП, имеет высокую чувствительность 88–95 % и специфичность 90–95 % для верификации желчных камней и стеатоза печени, а также позволяет определить размер и плотность желчных камней, плотность печени в единицах Хаунсфилда (НУ). Снимок МСКТ пациента с сочетанием НАЖБП и ЖКБ представлен на рисунке 2.

Из инструментальных неинвазивных современных методов диагностики НАЖБП широко используется эластография на аппарате Fibro Scan путем измерения затухания ультразвуковой эховолны CAP (Controlled attenuation parameter) и УЗИ эластография сдвиговой волной системы Aixplorer, позволяющие определить степень фиброза и стеатоза печени. Метаанализ 16 исследований 2021 года, включающий 2346 человек показал хорошую диагностическую ценность метода для верификации стеатоза печени по сравнению с гистологическими данными (AUROC 0,819;95%, ДИ 0,769-0,869) [27].

Еще в 1996 году Leuschner выделил три основных типа желчных камней: холестериновые, черные и коричневые пигментные. Рентгенконтрастными на МСКТ считаются камни, состоящие из билирубината кальция



Рис. 1. Снимки УЗИ пациентов с НАЖБП и ЖКБ

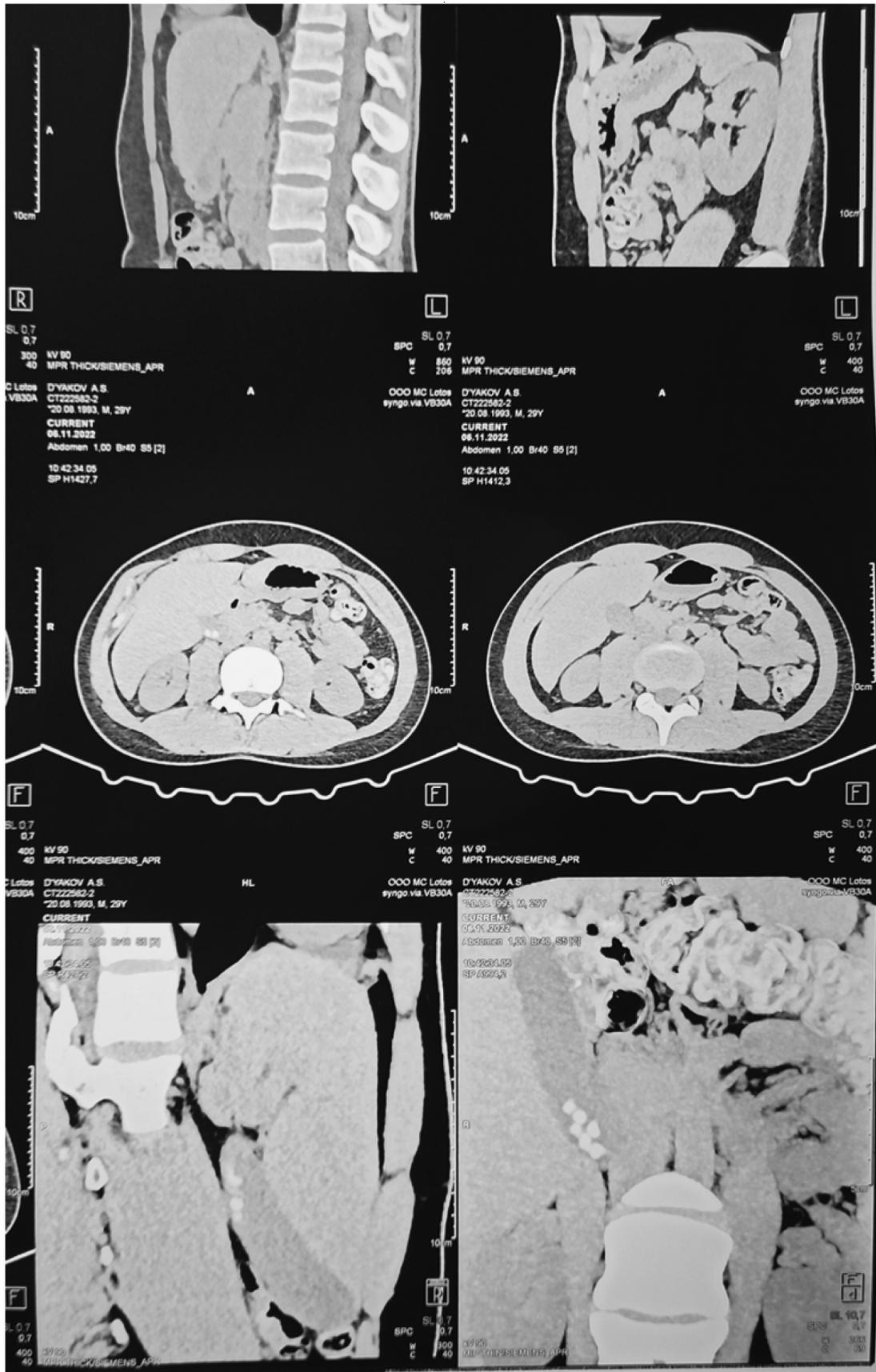


Рис. 2. Снимок МСКТ пациента с рентгенконтрастными камнями плотностью 195 HU размером 7–8 мм и стеатозом печени (плотность 43 HU)

и полимеров билирубина (черные и коричневые пигментные), а слабоконтрастными или рентгеннегативными — холестериновые камни. Холестериновые камни могут содержать ядро, в котором содержатся пигменты, могут быть гомогенно кальцифицированы или иметь кальцифицированную оболочку. Некальцифицированные камни, состоящие преимущественно из холестерина визуализируются на УЗИ и МСКТ [11–17]. Тактика ведения пациентов с ЖКБ будет определяться рентгенологическими параметрами желчных камней. В таблице 1 представлена классификация желчных камней в зависимости от их рентгенологической плотности.

Таблица 1.

Плотность желчных камней по параметрам МСКТ

Средняя плотность желчи	Рентгеннегативные камни	Слабоконтрастные камни	Рентгенопозитивные камни
10–15 HU	40–75 HU	75–100 HU	Более 100 HU

В таблице 2 представлена классификация степени стеатоза в зависимости от плотности печени по МСКТ [26].

Таблица 2.

Плотность печени по данным МСКТ брюшной полости

Средняя плотность печени в норме	Стеатоз 1 ст	Стеатоз 2 ст	Стеатоз 3 ст
50–75 HU	49–45 HU	45–35 HU	Менее 35 HU

Параметры желчного камня определяют эффективность консервативной терапии (литолитики) препаратами УДХК, показатели плотности печени помогают верифицировать степень стеатоза и оценить динамику плотности печени на фоне терапии. При условии наличия единичных камней или заполнения менее 1/3 желчного пузыря, а также низкой рентгенологической плотности (до 100 HU) и малого размера желчного камня (до 10–15 мм) возможность литолитики по данным многих авторов возрастает [11–17]. Камни плотностью более 100 HU и более 15 мм являются пигментными или содержат билирубинат кальция, эффективность литолитики таких камней минимальна [11]. По нашим данным, эффективность литолитики при правильном подборе кандидатов может составлять 81,7 % при лечении УДХК 15 мг/кг в течение 1 года [12]. Другие исследования показали, что растворимость холестериновых камней при приеме УДХК составляет лишь 30–50 % [17]. Сопоставление липидограммы у пациентов с пигментными и холестериновыми конкрементами выявляет более высокий уровень триглицеридов у лиц с холестериновыми камнями, чем у лиц с пигментными камнями [16]. В исследовании R. Karoooretal (2018) показана корреляция состава желчных конкрементов с уровнем липидов крови: у пациентов с высоким содержанием холестерина в желчных камнях (более 50 %) уровень ЛПНП крови оказался достоверно выше, чем у пациентов с меньшим содержанием холестерина

в камнях (менее 50 %) [23]. В настоящее время ЖКБ определяют, как холестерин-ассоциированную патологию желчевыводящей системы, которая является предиктором атеросклеротического процесса в сосудах, а атерогенез в печени определяется как модифицируемый фактор сердечно-сосудистого риска [14]. В настоящее время желчный пузырь рассматривается не только как орган накапливающий и выделяющий желчь, но и как важное звено в цепи печень — желчный пузырь — кишечник, влияющее на метаболические процессы в целом (гомеостаз холестерина, триглицеридов и желчных кислот) посредством фарнезоидного X — рецептора (FXR), рецептора TGR5, фактора роста фибробластов (FGF19), регулирующего энтерогепатическую циркуляцию желчных кислот и липогенез в печени [24]. Известно, что ЖКБ значительно чаще встречается у лиц с гипертонической болезнью, сахарным диабетом, НАЖБП, ожирением и инсулинорезистентностью [25]. Таким образом, образование холестериновых камней в желчном пузыре и развитие НАЖБП является следствием сочетанного влияния целого ряда местных и общих факторов и рассматривается как проявление системных нарушений метаболического и воспалительного генеза. Анализ влияния предикторов на исход лечения НАЖБП и ЖКБ ранее не проводился.

*Цель работы:* выявить предикторы, влияющие на эффективность лечения НАЖБП и ЖКБ и создать математическую модель прогнозирования успешной терапии.

*Материалы и методы:* Метод исследования — поперечный срез на базе проспективного когортного исследования.

Критерии включения:

1. Возраст 18–65 лет.
2. Диагностированная ЖКБ.
3. Согласие на участие в исследовании

Критерии исключения:

1. Злокачественные новообразования (в анамнезе до 5 лет).
2. Тяжелые заболевания сердечно-сосудистой системы, пациенты с высоким сердечно-сосудистым риском (SCORE-2 более 5), тяжелые заболевания легких и почек в течение 5 лет.
3. Ментальные расстройства и психические заболевания, затрудняющие контакт.
4. Наличие других по этиологии заболеваний печени.

Включено 114 человек, с ЖКБ в возрасте от 18 до 65 лет, из них женщин 75 человек (65,7 %), а количество мужчин составило 39 человек (34,3 %). Средний возраст пациентов был 48,4±13,3 лет. Все пациенты разделены по наличию НАЖБП на 2 группы. В первую группу вошли пациенты с сочетанием ЖКБ и НАЖБП — 65 человек,

во вторую пациенты с ЖКБ без НАЖБП — 49 человек. В работе учитывался анамнез жизни и заболевания (наследственные заболевания, стаж заболевания, присутствие сопутствующей патологии), антропометрические данные (рост, масса тела, ИМТ, окружность талии). Всем пациентам выполнены общеклинические (ОАК, ОАМ), биохимические анализы крови (АСТ, АЛТ, общий и прямой билирубин, амилаза, ГГТП, липидограмма, глюкоза, инсулин, НОМА индекс), УЗИ брюшной полости проводилось на аппарате Voluson E8 BT 15 (для скрининга на ЖКБ и НАЖБП), МСКТ брюшной полости на аппарате Philips MX-8000 IDT-16CT (для определения рентгенологической плотности желчного камня и его размера, а также плотности печени и верификации сопутствующих заболеваний), эластометрия печени проводилась на аппарате FibroScan 502 TOUCH с ультразвуковым датчиком XL, программное обеспечение CAP (для определения степени фиброза и стеатоза печени), рассчитаны индексы фиброза (FIB4, APRI) и стеатоза печени (FLI). Нами были использованы следующие критерии диагностики НАЖБП: наличие жирового гепатоза по данным УЗИ брюшной полости, значение FLI более 60, значение плотности печени МСКТ менее 50 HU, значение Cap эластометрии печени более 200. Клиническая оценка коморбидности проводилась по кумуляционной шкале CIRS-G (Cumulative Illness Rating Scale), которая включает подсчет количества и тяжести сопутствующих заболеваний, с расчетом индекса и баллов коморбидности. Всем пациентам назначалась УДХК (Урсосан форте) в дозе 15 мг/кг на 12 месяцев.

Статистическая обработка исследования проводилась с помощью прикладных программы IBM SPSS Statistics 19. На всех этапах статистического анализа нулевая гипотеза отвергалась при значениях  $p < 0,05$ .

Гипотезы о виде распределения проверяли, используя критерии Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова, количественные данные представлены в виде медианы (Me) с указанием интерквартильного размаха [P25;P75]. При сравнении двух несвязанных групп использовался критерий Манна-Уитни. Для сравнения двух связанных выборок использовался критерий Уилкоксона. Для сравнения групп по признакам использовался  $\chi^2$  критерий Пирсона. Корреляционный анализ Спирмена использовался для оценки взаимосвязи между исследуемыми показателями. Для прогнозирования эффективности терапии использовали метод логистической регрессии и анализ ROC-кривой.

*Результаты исследования:* При анализе коморбидной патологии было выявлено, что у пациентов в группе ЖКБ с НАЖБП (1 группа) статистически значимо чаще диагностировались сердечно-сосудистые заболевания (69,2 %) чем у пациентов из группы ЖКБ без НАЖБП (2 группа) 26,5 %,  $p < 0,001$ . Индекс коморбидности CIRS-G был достоверно выше в 1 группе (75,4 %), чем во 2 группе (24,6 %),  $p < 0,001$ . Дислипидемия и нарушение гликемии натощак достоверно чаще ( $p < 0,05$ ) встречались в 1 группе 89,2 % и 43 % соответственно, в отличие от пациентов 2 группы — 63,3 и 14,2 % соответственно. Ожирение (56,9%) и инсулинорезистентность (66,2 %) существенно преобладали в группе с НАЖБП в отличие от 2 группы (4,1 и 24,5 % соответственно)  $p < 0,001$ . Пациенты первой группы также достоверно чаще имели ОТ более 102 см у мужчин и более 88 см у женщин в 73,8 % случаев, чем в группе без НАЖБП (8,1 %)  $p < 0,001$ . Анализ коморбидной патологии представлен на рисунке 3.

При анализе лабораторных данных мы получили статистически значимые различия Me 25–75 %, в группах

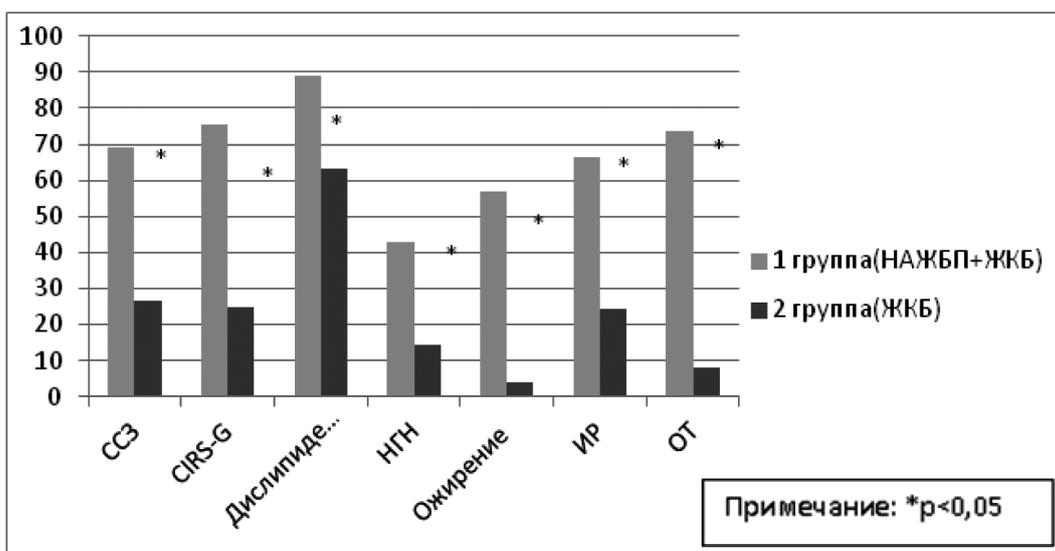


Рис. 3. Коморбидная патология при ЖКБ

Примечание: ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, CIRS-G — индекс коморбидности, НГН — нарушение гликемии натощак, ИР — инсулинорезистентность, ОТ — окружность талии более 102 см у мужчин и более 88 см у женщин

(значимость Манна-Уитни,  $p < 0,05$ ) при сравнении уровней АСТ, АЛТ, ГГТП, общего холестерина, ТГ, ЛПНП, глюкозы, НОМА индекса. Оценка биохимических показателей в группах проводилась до лечения и после завершения литолитической терапии. Статистически значимые различия до и после лечения (критерий Уилкоксона  $p < 0,05$ ) были получены для показателей: АСТ, АЛТ, общий билирубин, амилаза, ГГТП, ОХС, ЛПНП, ЛПВП, НОМА индекса. Таким образом, мы видим, что на фоне проводимой терапии УДХК (Урсосан форте) снижаются биохимические маркеры цитолиза, холестаза, нормализуются показатели липидного и углеводного обмена. В группе 1 показатели ГГТП, глюкозы, НОМА индекса, ЛПНП, ТГ, АЛТ были статистически значимо выше до и после лечения по сравнению со 2 группой. Динамика биохимических показателей в группах представлена на рисунках 4–7.

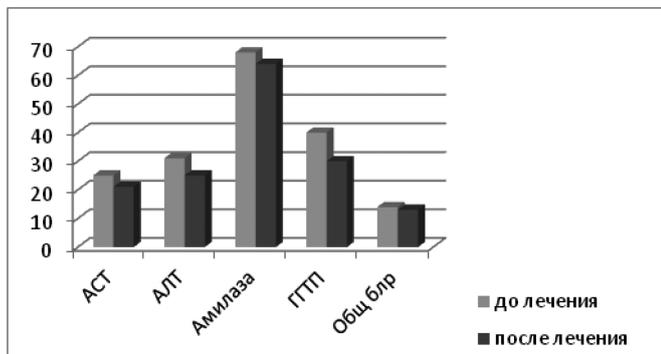


Рис. 4. Динамика биохимических показателей в 1 группе на фоне терапии УДХК 15 мг/кг в течение 1 года

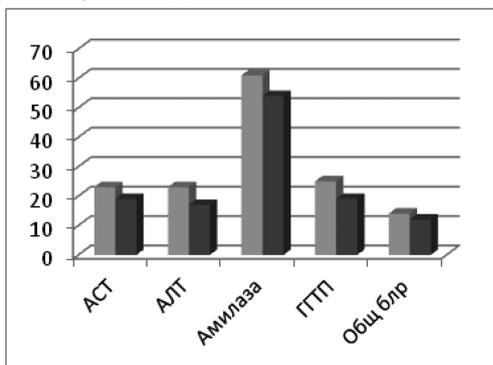


Рис. 5. Динамика биохимических показателей в группе 2 на фоне терапии УДХК 15 мг/кг в течение 1 года

По результатам УЗИ и МСКТ размер желчного камня достоверно уменьшался на фоне терапии Урсосаном форте во второй группе (Me снизилась от 7 мм до 0,1 мм)  $p = 0,001$ , в отличие от первой, где динамика была незначительной (Me снизилась от 8,1 до 7,8 мм). Плотность камня также достоверно уменьшалась на фоне терапии во 2 группе (Me от 85 HU до 35 HU) при  $p = 0,002$ . Во 2 группе преобладали камни до 10 мм в 73,5 % случаев, в отличие от 1 группы, где камни малого размера встречались в 56,9 % случаев, камни малой плотности (до 100 HU) чаще встречались также во 2 группе (41,5 %). На фоне проведенной терапии рентгенологическая плотность

печени по МСКТ повышались и обеих группах. В 1 группе Me выросла от 44 HU до 48 HU  $p < 0,001$ , во 2 группе от 56 HU до 58 HU при  $p = 0,024$ . Это свидетельствует о регрессе стеатоза и уменьшении количества липидных везикул в паренхиме печени. Динамика параметров желчных камней и показателей, характеризующих стеатоз печени представлены на рисунках 8 и 9.

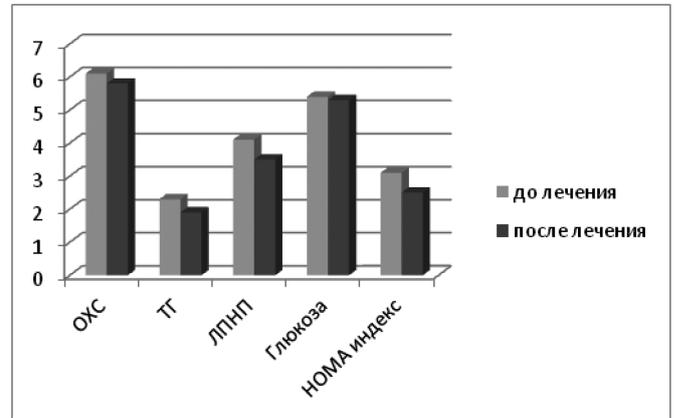


Рис. 6. Динамика показателей в 1 группе на фоне терапии УДХК 15 мг/кг в течение 1 года  
Примечание:  $p$  — значимость Манна-Уитни  $< 0,05$ , ОХС — общий холестерин, ТГ — триглицериды, ЛПНП — липопротеины низкой плотности, НОМА-индекс — индекс инсулинорезистентности

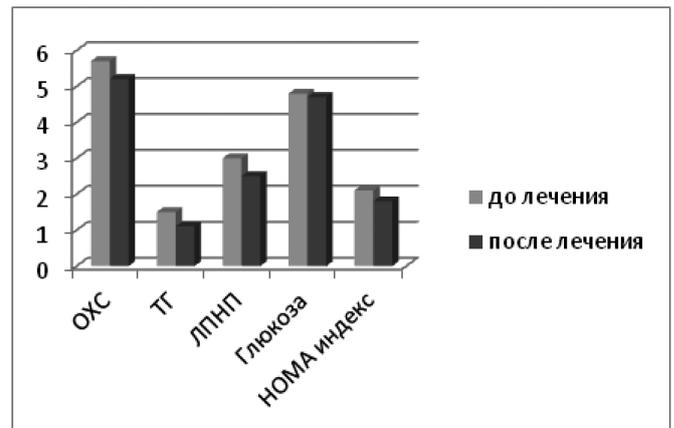


Рис. 7. Динамика показателей во 2 группе на фоне терапии УДХК 15 мг/кг в течение 1 года  
Примечание:  $p$  — значимость Манна-Уитни  $< 0,05$ , ОХС — общий холестерин, ТГ — триглицериды, ЛПНП — липопротеины низкой плотности, НОМА-индекс — индекс инсулинорезистентности

Индекс фиброза FIB4 различался в группах до лечения (Me=1,03 и 0,89 соответственно)  $p = 0,022$ , после лечения УДХК он снизился в обеих группах: в 1 группе до Me=0,98,  $p < 0,001$ , во 2 группе до Me=0,8,  $p = 0,007$ . Индекс стеатоза FLI был существенно выше в 1 группе в отличие от 2 (Me=69 и 28 соответственно), при  $p = 0,001$ . Показатели эластометрии печени Cap (dB/m) были достоверно различались в группах: в 1 группе Me=305 dB/m, во 2 группе Me=167 dB/m,  $p = 0,05$ , после лечения показатели

Сар достоверно снизились: в 1 группе до Me=243 dB/м,  $p < 0,001$ , во 2 группе до Me=165 dB/м,  $p = 0,03$ .

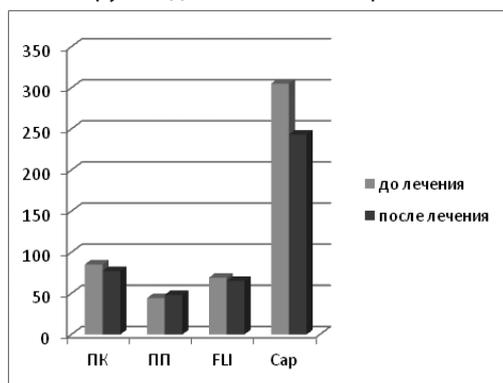


Рис. 8. Динамика параметров желчного камня и показателей стеатоза печени на фоне терапии УДХК в 1 группе

Примечание: PK — плотность камня, PP — плотность печени, FLI — расчетный индекс стеатоза печени, Сар — показатель стеатоза печени по данным эластометрии

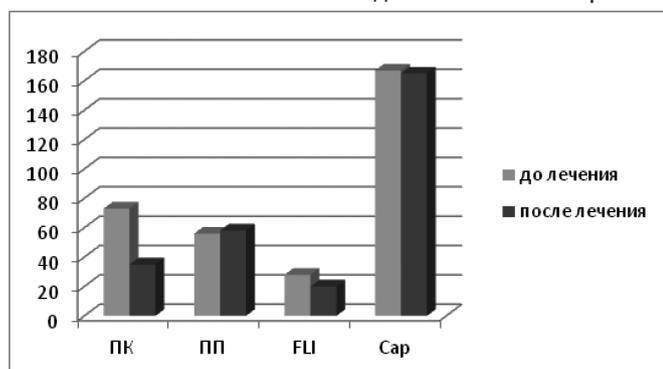


Рис. 9. Динамика параметров желчного камня и показателей стеатоза печени на фоне терапии УДХК во 2 группе

Примечание: PK — плотность камня, PP — плотность печени, FLI — расчетный индекс стеатоза печени, Сар — показатель стеатоза печени по данным эластометрии

Мы определили, что эффективный литолиз (полное растворение желчного камня или уменьшение его в 2 и более раз) был возможен у пациентов без коморбидности (71,4 %), в отличие от пациентов с высокой коморбидностью (28,6 %) критерий  $\chi^2$  Пирсона  $p < 0,001$ , что указывает на неблагоприятное влияние коморбидной патологии на эффективность консервативного лечения ЖКБ. У пациентов с высоким индексом коморбидности CIRS-G преобладала большая плотность камня (50,9 %) в отличие от пациентов без коморбидности (28,8 %),  $p < 0,001$ , инсулинорезистентность также чаще встречалась чаще при высоких значениях индекса коморбидности CIRS-G (66,7 %) в отличие от группы без коморбидности (29,8 %)  $p = 0,023$ , чаще встречается НАЖБП в 75,4 % случаев, в группе без коморбидности в 38,6 %,  $p = 0,001$ . Индекс коморбидности показал положительное корреляционное влияние на плотность и размеры желчного камня.

При проведении логистического анализа были выявлены предикторы эффективного литолиза: отсутствие инсулинорезистентности, оптимальные параметры желчного камня (плотность до 100 HU, размер до 10 мм), низкий индекс коморбидности, отсутствие ожирения и НАЖБП. Терапия УДХК (Урсосан форте) была успешной (полное растворение или уменьшение размеров камней более чем в 2 раза) у пациентов без НАЖБП (69,4 %) в отличие от пациентов с сочетанием НАЖБП (33,8 %)  $p = 0,001$ . Эффективность терапии УДХК представлена на рисунке 10.

Для оценки эффективности лечения УДХК 15 мг/кг в течение 1 года оценивался регресс стеатоза печени по наличию 2 критериев: увеличение плотности печени по МСКТ до 50 HU и более, снижение Сар до 200 db/м и менее по данным эластометрии на аппарате фиброскан и нормализации расчетного индекса FLI (менее 60). Регресс стеатоза был достигнут у 62 % пациентов 1 груп-

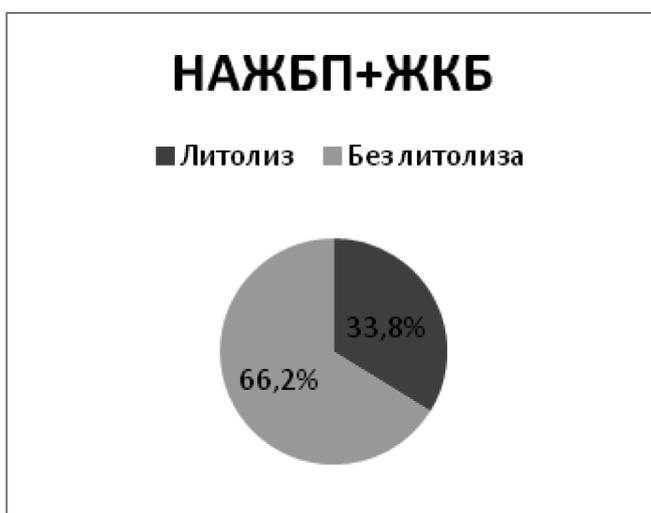
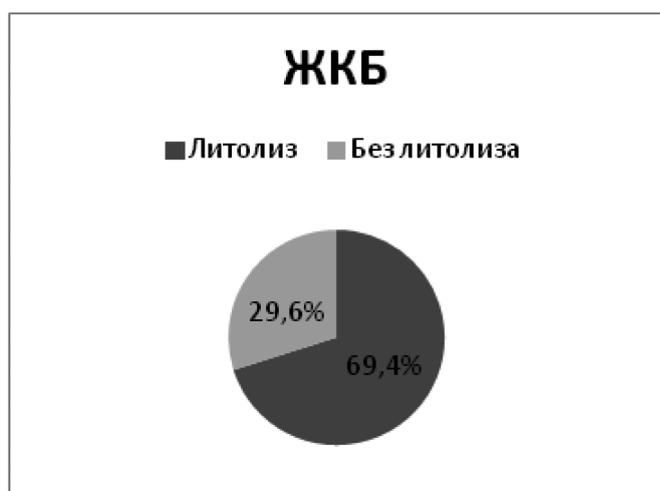


Рис. 10. Эффективность литолитической терапии в зависимости от наличия НАЖБП

пы. Мы выявили статистически значимые различия в группах с эффективной терапией и группой без регресса стеатоза по следующим показателям: плотность печени, глюкоза крови, НОМА индекс, FLI индекс (значимость U Манна-Уитни <0,05). Это свидетельствует о значимом влиянии углеводного обмена на течение и эффективность лечения НАЖБП.

Для составления математической модели прогнозирования эффективности терапии УДХК использовалась множественная логистическая регрессия, в которую в качестве предикторов включали переменные, основываясь на показателях ОШ. Для прогноза эффективности литолиза в модель вошли следующие показатели: размер желчного камня (ОШ=0,79), НОМА индекс (ОШ=0,355), наличие плотности камня более 100 НУ(ОШ=0,16), индекс CIRS-G (ОШ=0,04), наличие сердечно-сосудистых заболеваний (ОШ=0,292), наличие эндокринных заболеваний (ОШ=0,234), ожирение (ОШ=0,301), стеатоз печени (ОШ=0,226), наличие коморбидности (ОШ=6,02). Эти показатели оказали наибольшее влияние на исход и были отобраны в ходе простой логистической регрессии. Математическая модель прогнозирования успешного литолиза желчных камней была составлена в ходе множественной логистической регрессии, результаты которой представлены в таблице 3.

Таким образом, при увеличении значения НОМА индекса на 1 балл, эффективность литолиза снизится в 2,58 раз, при наличии плотности камня более 100 НУ эффективность литолиза снизится в 9,6 раз, а при повышении индекса коморбидности CIRS-G на 1 балл эффективность литолиза уменьшится в 29 раз.

Для прогноза эффективности лечения стеатоза вошли показатели: НОМА индекс (ОШ=0,63), глюкоза крови (ОШ=0,4), эндокринные заболевания (ОШ=0,250), индекс CIRS-G (ОШ=0,006), окружность талии (ОШ=0,93), ИМТ(ОШ=0,87), индекс стеатоза FLI(ОШ=0,96).

Таким образом, было определено влияние на регресс стеатоза: при повышении уровня глюкозы на 1 ммоль/л эффективность лечения стеатоза снизится в 22 раза, при увеличении окружности талии на 1 см эффективность снизится в 1,4 раза, при повышении индекса стеатоза FLI на 1 единицу, снизится эффективность лечения а 0,9 раз. Данная математическая модель наглядно показала воздействие метаболических изменений на исход терапии, и необходимость коррекции гликемии и массы тела для достижения положительной динамики.

### Обсуждение

Нами было проведено комплексное клинико-лабораторно-инструментальное обследование 114 пациентов с ЖКБ. При анализе коморбидной патологии было выявлено, что у пациентов в основной группе статистически чаще диагностировались заболевания сердечно-сосудистой системы, эндокринные заболевания и заболевания желудочно-кишечного тракта. При оценке факторов кардиометаболического риска среди пациентов с ЖКБ, мы выявили, что дислипидемия и нарушение гликемии натощак достоверно чаще встречались в группе сочетания НАЖБП и ЖКБ, в отличие от пациентов группы только с ЖКБ. Результаты нашего исследования показывают, что у пациентов с коморбидностью ЖКБ имеет свои особен-

Таблица 3.

Результаты множественной логистической регрессии для литолиза

	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Значимость	ОШ	95 % ДИ для ОШ		1/ОШ
					Нижняя граница	Верхняя граница	
РК(мм)	-0,210	0,070	0,001	0,820	0,720	0,931	1,23
НОМА	-0,953	0,281	0,001	0,390	0,230	0,670	2,58
БПК	-2,300	0,600	0,001	0,103	0,031	0,328	9,67
CIRS-G	-3,410	1,196	0,004	0,035	0,004	0,341	29,61

Примечание: РК — размер желчного камня в мм, НОМА — индекс инсулинорезистентности, БПК — плотность желчного камня более 100 НУ, CIRS-G — индекс коморбидности

Таблица 4.

Результаты множественной логистической регрессии для регресса стеатоза

	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Значимость	ОШ Exp B	95 % ДИ для ОШ		1/ОШ
					Нижняя граница	Верхняя граница	
Глюкоза крови (ммоль/л)	-3,210	1,074	0,004	0,047	0,006	0,369	22,200
ИМТ (кг/м <sup>2</sup> )	0,441	0,230	0,046	1,611	1,009	2,386	0,645
ОТ(см)	-0,381	0,134	0,005	0,657	0,529	0,891	1,455
FLI (баллы)	0,110	0,067	0,062	1,102	0,995	1,243	0,899

ности течения: больше плотность и размеры желчного камня, выше индексы фиброза и стеатоза печени, показатели липидного и углеводного обмена. У таких пациентов литолиз будет малоэффективен, вследствие наличия отягощающих факторов (большой ИМТ и окружность талии, наличие сопутствующей патологии, дислипидемия, инсулинорезистентность). Терапия УДХК в этой группе лиц помог нормализовать показатели цитолиза, холестаза, липидограммы и НОМА индекса, но практически не повлиял на растворение желчных камней. Нами выявлены предикторы успешной литолитической терапии: НОМА индекс, индекс коморбидности CIRS-G, параметры желчного камня и предикторы регресса стеатоза: ИМТ, окружность талии, индекс FLI, глюкоза крови. Предикторы, на которые мы можем повлиять (модифицируемые), позволят улучшить эффективность терапии: снижение НОМА индекса, ИМТ, окружности талии, нормализация глюкозы крови будут способствовать лучшему исходу в терапии НАЖБП и ЖКБ.

Терапия УДХК позволяет воздействовать на все звенья патогенеза ЖКБ и НАЖБП и добиться эффективного лечения у пациентов с сочетанием НАЖБП и ЖКБ (регресс стеатоза, литолиз желчных камней), позитивно повлиять на показатели липидного и углеводного обмена. Монотерапия повышает преемственность лечения и позволяет избежать полипрагмазии. Фармакологические эффекты УДХК связаны со способностью снижать на-

сыщение желчи холестерином за счет подавления его кишечной абсорбции и реабсорбции, снижения синтеза холестерина в печени и уменьшения его секреции в желчь. УДХК уменьшает всасывание гидрофобных эндогенных желчных кислот из тонкой кишки, растворяет их соли и оказывает желчегонное действие, оказывает многофакторное действие на состояние гепатобилиарной системы и метаболизм в целом [21]. Известно, что УДХК оказывает комплексное воздействие на липидный обмен: увеличиваются показатели ЛПВП и снижаются ЛПНП, снижается уровень АЛТ, АСТ, ГГТ, уменьшается степень стеатоза и фиброза печени [22]. Международное многоцентровое исследование «Успех» (2019) под руководством Ивашкина В.Т. показало, что монотерапия Урсосаном у пациентов с НАЖБП достоверно снижает гепатологические (биохимические показатели цитолиза и холестаза, снижение степени стеатоза и фиброза) и сердечно-сосудистые (снижение ЛПНП, ТГ, повышение ЛПВП, снижение ТКИМ) риски коморбидных пациентов с НАЖБП [21].

#### Выводы

Результаты исследования показали, что предикторами эффективного лечения пациентов с сочетанием НАЖБП и ЖКБ являются параметры желчного камня, степень стеатоза печени, низкий индекс коморбидности CIRS-G, отсутствие инсулинорезистентности и ожирения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ивашкин В.Т., Лапина Т.Л. Гастроэнтерология. Национальное руководство: Гастроэнтерология. Национальные руководящие принципы: краткое издание. Москва: GEOTAP Медиа, 2015
2. Осадчук М.А., Киреева Н.В., Васильева И.Н., Миронова Е.Д. Влияние степени выраженности метаболических нарушений на диаметр конкрементов в желчном пузыре: клинико-инструментальные и лабораторные данные. Терапия. 2019; 5 (3): 55
3. Chen L-Y, Qiao Q-H, Zhang S-Cetal. Metabolic syndrome and gallstone disease. World J Gastroenterol 2012; 18 (31): 4215–20
4. Ata N, Kucukazman M, Yavuz B et al. The metabolic syndrome is associated with complicated gallstone disease. Can Journal Gastroenterology 2011; 25 (5): 274–6
5. Буеверов А.О. Клинико-патогенетические параллели НАЖБП и ЖКБ. Российский Журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2019; 29(1):17–23.
6. Shou-Feng Zhao, Ai-Min Wang, Xin-Juan Yul et al. Association between gallstone a cardio-cerebrovascular disease: Systematic review and metaanalysis. Exp.Ther. Med. 2019;17(4)
7. Бордин Д.С. Рекомендации научного общества гастроэнтерологов России по диагностике и лечению желчнокаменной болезни. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2012;(4):114–122
8. Комшилова К.А., Трошина Е.А. Ожирение и неалкогольная жировая болезнь печени. Лечение и профилактика.2012;1:99–108
9. Диагностика и лечение неалкогольной жировой болезни печени: методические рекомендации для врачей. Под ред. Ивашкина В.Т. М.: МЕД пресс-информ; 2012
10. Комшилова К.А., Трошина Е.А. Ожирение и неалкогольная жировая болезнь печени: метаболические риски и их коррекция. Ожирение и метаболизм. 2015;2(12):35–39.
11. Скворцова Т.Э., Ситкин С.И., Радченко В.Г., Селиверстов П.В. Желчнокаменная болезнь. Современные подходы к диагностике, лечению и профилактике: пособие для врачей. М.: Фортепринт, 2013.
12. Диагностическая и лечебная тактика ведения пациентов желчно-каменной болезнью Пирогова И.Ю., Уфимцева И.В, Синицын С.П., Чулков В.С. Уральский медицинский журнал URMJ.2019.03.18
13. Lazo M et ai: NAFLD and mortality among US adults: prospective c13.Lazo M et ai: NAFLD and mortality among US adults: prospective cohort study. BMG 343(7832) 2011
14. Лазебник Л.Б. Метаболический синдром и органы пищеварения / Л.Б. Лазебник, Л.А. Звенигородская. — М.: Анахарсис, 2009. — 184
15. Di Ciaula A., Portincasa P. Recent advances in understanding and managing Cholesterol gallstones. F1000Res. 2018; 7: F1000 Faculty Rev-1529

16. Weerakoon H.T., Ranasinghe S., Navaratne A., Sivakanesan R., Galketiya K. B., Rosairo S. Serum lipid concentrations in patients with cholesterol and pigment gallstones. *BMC Res Notes*. 2014; 7: 548.
17. Rubin RA, Kowalski TE, Khandelwal M, et al. Ursodiol for hepatobiliary disorders. / *Ann Intern Med*. 1994; 121(3): 207–218
18. Буеверов А.О. Холецистэктомия как фактор риска прогрессирования НАЖБП *Consilium Medicum*. — 2019. — № 08. — С. 93–97.
19. Tint G.S., Salen G., Colalillo A. et al. Ursodeoxycholic acid: a safe and effective agent for dissolving cholesterol gallstones. *Ann Intern Med*. 1982;97(3):351–356.
20. Jae Min Lee, Jong Jin Hyun, In Young Choi et al. Comparison on Response and Dissolution Rates Between Ursodeoxycholic Acid Alone or in Combination With Chenodeoxycholic Acid for Gallstone Dissolution According to Stone Density on CT Scan. *Medicine (Baltimore)*.2015;94(50)
21. Ивашкин В.Т., Маевская М.В., Павлов Ч.С. Клинические рекомендации по диагностике и лечению неалкогольной жировой болезни печени Российского общества по изучению печени и Российской гастроэнтерологической ассоциации. РЖГГК, 2019
22. Буеверов А.О. Клинико-патогенетические параллели НАЖБП и ЖКБ. *Российский Журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии*. 2019; 29(1): 17–23.
23. Kapoor R., Sharma R.K., Hingora O.M., Roy A.K., Ahmed F., N. Sinha. Correlation of serum biochemical characteristics with its gallstone compositions. *J. Biol. Sci. Med*. 2018; 4 (2): 9–18.
24. Гриневич В.Б., Сас Е.И. Физиологические эффекты желчных кислот РМЖ. *Медицинское обозрение*. 2017. № 2. С. 87–91.
25. Звенигородская Л.А., Овсянникова О.Н. Стеатогепатит и холестероз желчного у больных с метаболическим синдромом. *Трудный пациент*, 2010, 8(3): 54–58.
26. Pickhardt P.J., Park S.H., Hahn L., Lee S.-G., Bae K.T., Yu E.S. Specificity of unenhanced CT for non-invasive diagnosis of hepatic steatosis: Implications for the investigation of the natural history of incidental steatosis. *European Radiology*. 2012; 22 (5): 1075–1082
27. Xiao G, Zhu S, Xiao X, et al. Comparison of laboratory tests, ultrasound, or magnetic resonance elastography to detect fibrosis in patients with nonalcoholic fatty liver disease: a meta-analysis. *Hepatology*. 2017; 66:1486–501

---

© Уфимцева Ирина Владимировна (ufimtsevaiv77@mail.ru); Пирогова Ирина Юрьевна (irina\_pirogova@inbox.ru);  
Вереина Наталья Константиновна (vereinanata@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРЕДИКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТЕЧЕНИЕ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРАПИИ НАЖБП ПРЕПАРАТАМИ УДХК

## PREDICTORS AFFECTING THE COURSE AND EFFECTIVENESS OF NAFLD THERAPY WITH UDCA DRUGS

I. Ufimtseva  
S. Yakovleva

*Summary. Introduction:* NAFLD has many factors that influence its course and prognosis.

*Aim.* To identify the predictors that have the greatest impact on the treatment of NAFLD with UDCA drugs and to build a mathematical model for predicting the outcome.

*Materials and methods:* 55 people with NAFLD aged 18 to 65 years, 30 women (54.5 %), 25 men (45.5 %) were included. The average age of the patients was  $47.7 \pm 9$  years. All patients were prescribed UDCA 15 mg/kg for 1 year. The groups were divided according to the achievement of steatosis regression into 2 groups: 1 group with steatosis regression — 31 people (56.4 %) and without steatosis regression — 24 people (43.6 %). All patients underwent general clinical, biochemical blood tests, abdominal ultrasound, abdominal MSCT, liver elastometry on a fibroscan device with an XL sensor, fibrosis indices (FIB4, APRI) and liver steatosis (FLI) were calculated. The results of the study: in the group with steatosis regression, the indices of Sarelastometry, the FLI index, the CIRS-G comorbidity index were significantly lower, the waist circumference, the NОМА index, blood glucose indices were lower and the liver density index according to MSCT was higher ( $p < 0.05$ ). After UDCA therapy, statistically significant differences were achieved in both groups in terms of AST, ALT, total bilirubin, GGTP, OHS, TG, LDL, HDL (Wilcoxon criterion  $p < 0.05$ ), but regression of steatosis was achieved only in 56.4 % of people. After evaluating the predictors of steatosis regression, we identified the main ones: blood glucose, BMI, waist circumference, FLI index. They were included in the prognostic model for evaluating the therapy of liver steatosis.

*Conclusions:* The factors that have the greatest impact on the development and effectiveness of NAFLD therapy should be taken into account before treatment and adjusted in a timely manner to achieve steatosis regression.

*Keywords:* NAFLD, obesity, metabolic syndrome, comorbidity.

**Уфимцева Ирина Владимировна**

врач гастроэнтеролог, ООО Медицинский центр «Лотос», г. Челябинск, ufimtsevaiv77@mail.ru

**Яковлева София Васильевна**

врач кардиолог, заведующая отделением терапии ООО Медицинский центр «Лотос» г. Челябинск ysv9090831979@gmail.com

*Аннотация. Введение:* НАЖБП имеет множество факторов, оказывающих влияние на ее течение и прогноз.

*Цель.* Выявление предикторов, оказывающих наибольшее влияние на терапию НАЖБП препаратами УДХК и построить математическую модель прогнозирования исхода.

*Материалы и методы:* включено 55 человек с НАЖБП в возрасте от 18 до 65 лет, женщин 30 человек (54,5 %), мужчин 25 человек (45,5 %). Средний возраст пациентов был  $47,7 \pm 9$  лет. Всем пациентам назначалась УДХК 15 мг/кг (Урсосан форте) курсом 12 месяцев. Пациенты разделены по достижению регресса стеатоза на 2 группы: 1 группа с регрессом стеатоза — 31 человек (56,4 %) и без регресса стеатоза — 24 человека (43,6 %). Всем пациентам выполнены общеклинические, биохимические анализы крови, УЗИ брюшной полости, МСКТ брюшной полости, эластометрия печени на аппарате фиброскан с датчиком XL, рассчитаны индексы фиброза (FIB4, APRI) и стеатоза печени (FLI).

*Результаты исследования:* в группе с регрессом стеатоза были достоверно ниже показатели Сарэластометрии, индекс FLI, индекс коморбидности CIRS-G, была меньше окружность талии, NОМА индекс, показатели глюкозы крови и выше показатель плотности печени по МСКТ ( $p < 0,05$ ). После терапии УДХК статистически значимые различия достигнуты в обеих группах по показателям АСТ, АЛТ, общий билирубин, ГГТП, ОХС, ТГ, ЛПНП, ЛПВП (критерий Уилкоксона  $p < 0,05$ ), но регресса стеатоза удалось достичь только у 56,4 % человек. Оценив предикторы регресса стеатоза, мы выявили основные из них: глюкоза крови, ИМТ, окружность талии, индекс FLI. Они вошли в прогностическую модель оценки терапии стеатоза печени УДХК.

*Выводы:* факторы, оказывающие наибольшее влияние на развитие и эффективность терапии НАЖБП должны учитываться для успешного лечения и своевременно корректироваться для достижения регресса стеатоза.

*Ключевые слова:* НАЖБП, ожирение, метаболический синдром, коморбидность.

### Введение

Распространенность НАЖБП связана с постоянным увеличением лиц с ожирением и СД 2-го типа. Исследования, проведенные в России, показывают, что 60 % женщин и 50 % мужчин старше 30 лет имеют избыточную массу тела, а у 22 % населения диагностировано ожирение [1]. Результаты метаанализа 2016 года демонстрируют распространенность НАЖБП 25,2 % среди популяции в мире [9], а по данным метаанализа 2021

года, включающего 116 исследований показано, что распространенность НАЖБП у лиц с избыточной массой тела составляет 50,7 % [10]. Висцеральное ожирение является обязательным критерием метаболического синдрома. В метаанализе М. Chowdhury с соавторами, включающем 10 исследований, было выявлено, что распространенность МС распространена от 20 до 37 % среди населения [2]. Известно, что патология печени может быть одним из факторов начала атеросклеротического поражения сосудов, а атерогенез в печени настоящее

время является модифицируемым фактором кардиоваскулярного риска [3].

По мнению исследователей, центральное место в развитии НАЖБП занимает инсулинорезистентность (ИР) и гиперинсулинемия [4]. У больных с висцеральным типом ожирения происходит усиление липолиза с высвобождением свободных жирных кислот (СЖК), обладающих липотоксичностью и запускающих ряд изменений в органах-мишенях. Избыточное поступление СЖК в гепатоциты способствует развитию печеночной ИР в результате снижения связывания и деградации инсулина. Одновременно с этим тормозится подавляющее действие инсулина на продукцию глюкозы печенью, что приводит к системной гиперинсулинемии и к периферической ИР [5]. На фоне жировой дистрофии печени происходят реакции окисления СЖК, развитие митохондриальной дисфункции, образуются продукты перекисного окисления липидов и активные формы кислорода, провоцирующие повреждение гепатоцитов и развитие стеатогепатита. За счет увеличения провоспалительных цитокинов в печени происходит активация звездчатых клеток, являющихся продуцентами коллагена, что приводит к формированию фиброза печени. В настоящее время патогенез НАЖБП рассматривается как мультифакторный и включает: ИР, липотоксичность, воспаление, дисбаланс цитокинов, активацию иннантного иммунитета и микробиоты кишечника [11,12,13].

Жалобы у данных пациентов могут отсутствовать либо быть неспецифичными. Это затрудняет раннюю диагностику и своевременное лечение НАЖБП. По результатам биохимического исследования крови у пациентов с НАЖБП в стадии стеатоза часто определяются признаки нарушения углеводного (гипергликемия натощак или нарушение толерантности к глюкозе) и/или жирового (гиперхолестеринемия, гипертриглицеридемия, дислипидемия) обмена [6]. Синдром цитолиза может свидетельствовать о переходе заболевания в стадию стеатогепатита, но нормальные показатели АСТ и АЛТ не исключают воспалительных и фиброзных изменений в печени, а для достоверной диагностики стеатогепатита требуется биопсия печени [7,15].

НАЖБП чаще всего выявляется случайно при плановом ультразвуковом исследовании органов брюшной полости. К основным сонографическим признакам жировой дистрофии печени относятся диффузная гиперэхогенная структура («яркая» печень), усиленная эхоструктура печени по сравнению с почками, нечеткость и сглаженность сосудистого рисунка, дистальное затухание ультразвукового сигнала [8]. Косвенным показателем количественного содержания жира в печени является параметр контролируемого ослабления (САР) — это неинвазивный метод оценки стеатоза печени, который стал доступен для пациентов с ожирением с помощью

аппарата FibroScan с датчиком XL. Он дает возможность определить степень стеатоза и стадию фиброза печени и оценить динамику после лечения. Косвенным маркером стеатоза печени является расчетный индекс стеатоза FLI, являющийся удобным и быстрым способом скрининга на НАЖБП. Он включает: индекс массы тела, окружность талии, уровень триглицеридов и ГТТП крови. Значение FLI менее 30 указывает на отсутствие стеатоза, при значениях 30–60 стеатоз возможен и требуется дальнейшее обследование, а значение более 60 с вероятностью 78 % указывает о наличии НАЖБП [14]. В практической деятельности могут использоваться и другие индексы стеатоза: HSI, LAP, NAFLD-LFS. Для скрининга на фиброз печени также предложены расчетные индексы: NFS (включает возраст, ИМТ, АСТ/АЛТ, тромбоциты крови, наличие гипергликемии и уровень альбумина крови), FIB-4 (включает возраст, АСТ, АЛТ, тромбоциты крови), APRI, BARD. Однако, золотым стандартом диагностики НАЖБП по-прежнему остается биопсия печени, являющаяся дорогостоящим и инвазивным методом [15].

В настоящее время определено множество факторов риска НАЖБП: ожирение, сахарный диабет 2 типа, дислипидемия, гипотиреоз, синдром поликистозных яичников, хроническая болезнь почек, синдром апноэ во сне. Все они оказывают влияние на манифестацию и развитие НАЖБП. Из препаратов, рекомендованных к использованию при НАЖБП доказательную базу, имеют препараты УДХК, витамин Е и тиозолидиндионы [15]. Оценки влияния ведущих факторов риска на регресс стеатоза ранее не проводилось.

*Цель работы:* выявить предикторы, оказывающие наибольшее влияние на эффективность терапии НАЖБП с использованием УДХК и создать математическую модель прогнозирования успешной терапии.

## Материалы и методы

Исследование проведено методом поперечного среза на базе проспективно-когортного исследования. Критерии включения: возраст 18–65 лет, наличие НАЖБП, согласие пациента на исследование. Критерии исключения: злокачественные новообразования, тяжелые заболевания сердечно-сосудистой системы, тяжелые заболевания легких и почек, психические заболевания, наличие других по этиологии заболеваний печени.

Включено в исследование 55 человек, с НАЖБП в возрасте от 18 до 65 лет, из них женщин 30 человек (54,5 %), мужчин 25 человек (45,5 %). Средний возраст пациентов был 47,7±9 лет. Всем пациентам назначалась УДХК 15 мг/кг (Урсосан форте) в течение 1 года. Пациенты разделены по достижению регресса стеатоза на 2 группы: 1 группа с регрессом стеатоза — 31 человек (56,4 %) и без регресса стеатоза — 24 человека (43,6 %). За ре-

гресс стеатоза было принято наличие двух критериев из трех: увеличение плотности печени по данным МСКТ до 50 HU и более, снижение показателя Саp по данным эластометрии до 200 db/m и менее, а также значение расчетного индекса FLI менее 60. В работе исследовались антропометрические данные (рост, масса тела, ИМТ, окружность талии), общеклинические, биохимические анализы крови (АСТ, АЛТ, общий и прямой билирубин, амилаза, ГГТП, липидограмма, глюкоза, инсулин, НОМА индекс), УЗИ брюшной полости на аппарате VolusonE8 BT 15 (для скрининга НАЖБП), МСКТ брюшной полости на аппарате PhilipsMX-8000 IDT-16СТ (для определения рентгенологической плотности печени и верификации сопутствующих заболеваний), эластометрия печени на аппарате FibroScanXL (для определения фиброза и стеатоза печени), рассчитаны индексы фиброза (FIB4, APRI) и стеатоза печени (FLI). Нами были использованы следующие критерии диагностики НАЖБП: наличие жирового гепатоза по данным УЗИ брюшной полости, значение расчетного индекса стеатоза FLI более 60, значение плотности печени МСКТ менее 50 HU, значение Саp эластометрии печени более 200. Клиническая оценка коморбидности проводилась по кумуляционной шкале CIRS-G (Cumulative Illness Rating Scale), которая включает подсчет количества и тяжести сопутствующих заболеваний и расчет баллов коморбидности. Статистическая обработка исследования проводилась с помощью программы IBMSPSSStatistics 19. Статистически значимые значения при  $p < 0,05$ . Использовались критерии Шапиро-Уилка и Колмогорова-Смирнова, количественные данные представлены в виде медианы (Me) с указанием интерквартильного размаха [P25; P75]. При сравнении групп использовались критерии Манна-Уитни и Уилкоксона, проведен корреляционный анализ Спирмена, метод логистической регрессии и анализ ROC-кривой.

### Результаты исследования

В результате исследования выявлено, что у пациентов с НАЖБП ожирение встречалось у 31 человека (57%), инсулинорезистентность (повышение НОМА индекса более 2,7) у 36 человек (66%), избыточная масса тела (повышение ИМТ более 25) у 17 (32%), заболевания сердечно-сосудистой системы (гипертоническая болезнь, ИБС, атеросклероз, нарушения ритма сердца) у 38 человек (69%), заболевания желудочно-кишечного тракта (хронический гастрит, колит, холецистит, панкреатит) у 42 человек (76%), заболевания эндокринной системы (гипотиреоз, нарушение гликемии натощак, диффузный токсический зоб) у 16 человек (30%), высокий индекс коморбидности CIRS-G (более 7 баллов) выявлен у 41 человека (75%). Характеристика пациентов представлена на рисунке 1.

На рисунке 2 представлена характеристика пациентов в зависимости по массы тела.

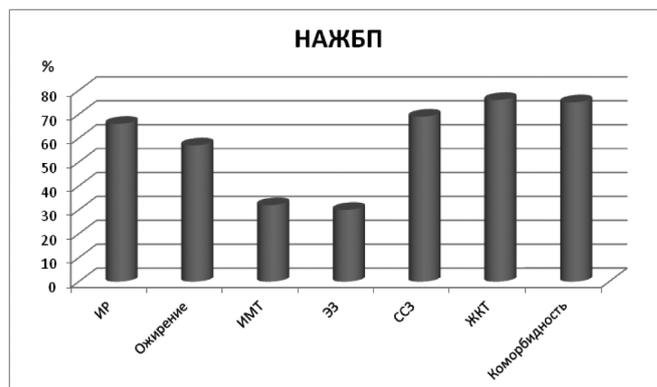


Рис. 1. Характеристика пациентов с НАЖБП  
Примечание: ИР — инсулинорезистентность, ИМТ — избыточная масса тела, ЭЗ — эндокринные заболевания, ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания, ЖКТ — заболевания желудочно-кишечного тракта, коморбидность — индекс коморбидности CIRS-G > 7 баллов

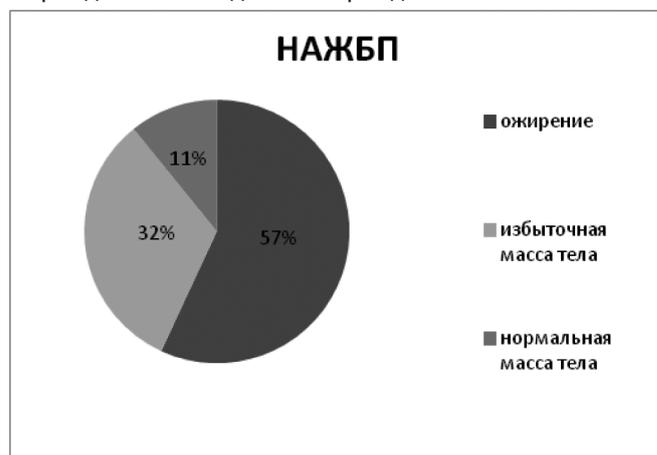


Рис. 2. Характеристика пациентов с НАЖБП в зависимости от массы тела

При проведении исследования, было выявлено, что в группе 1 с регрессом стеатоза были изначально выше показатели плотности печени (соответствует меньшему количеству жировых везикул в печени) в отличие от группы с отсутствием эффекта (Me=47,5 и 37,5 HU соответственно,  $p=0,012$ ), ниже значение Саp по данным эластометрии печени (Me=218 и 275 db/m соответственно,  $p=0,003$ ), ниже расчетный индекс стеатоза FLI (Me=64,5 и Me=87 соответственно,  $p=0,007$ ), ниже показатели уровня глюкозы крови (Me=5,2 и 6,2 ммоль/л соответственно,  $p=0,006$ ), показатели НОМА индекса (Me=2,7 и 4 соответственно,  $p=0,005$ ), окружность талии (Me=90 и 102 см соответственно,  $p=0,004$ ), индекс коморбидности CIRS-G (Me=7 и 8 баллов соответственно,  $p=0,017$ ).

Окружность талии у пациентов 2 группы была статистически больше, чем у 1 группы: Me=102 [93,5;109,2] и Me=90,5 [85;102,5] соответственно,  $p=0,004$ , индекс НОМА также преобладал по 2 группе (Me=4 [2,5;5,5] Me=2,7 [2,1;3,5] соответственно,  $p=0,005$ . Это говорит

о преобладании висцерального ожирения и инсулинорезистентности в группе 2.

При проведении корреляционного анализа выявлены корреляционные взаимодействия между исследуемыми показателями (таблица 1).

Таблица 1.

Корреляционные пары, исследуемых показателей при НАЖБП

Корреляционные пары	$r_s$	$p$
Плотность печени МСКТ(НУ) — Саp (dB/m)	-0,560	<0,001
Саp (dB/m) — индекс стеатоза FLI	0,679	<0,001
Саp (dB/m) — триглицериды крови (ммоль/л)	0,510	0,002
Саp (dB/m) — глюкоза крови (ммоль/л)	0,450	0,003
Саp (dB/m) — ИМТ (кг/м <sup>2</sup> )	0,480	0,006
Саp (dB/m) — индекс CIRS-G	0,480	0,004
Саp (dB/m) — окружность талии (см)	0,567	<0,001
Саp (dB/m) — НОМА индекс	0,581	<0,001
Индекс стеатоза FLI — глюкоза крови (ммоль/л)	0,491	0,003
Индекс стеатоза FLI — НОМА индекс	0,501	<0,001
Индекс стеатоза FLI — АЛТ (Ед/л)	0,431	0,002

Наиболее сильные корреляционные взаимодействия были выявлены между показателем Саp эластометрии, индексом FLI и НОМА индексом, между показателем окружности талии и Саp, между уровнем триглицеридов крови и Саp. Это говорит о влиянии данных показателей на развитие НАЖБП и необходимость их учета при подборе терапии.

При логистическом анализе было выявлено, что при увеличении уровня глюкозы крови на 1 единицу снижается возможность регресса стеатоза в 2,48 раза, а при наличии у пациента эндокринных заболеваний (ЭЗ) регресс стеатоза снизится в 3,98 раза. При повышении индекса коморбидности CIRS-G на 1 единицу, снижается

вероятность регресса стеатоза в 16 раз. Предикторы, оказывающие наибольшее влияние на регресс стеатоза и отношение шансов для изученных факторов отражено в таблице 2.

Терапия УДХК (Урсосан форте) проводилась всем пациентам в течение 12 месяцев. После оценки клинических и биохимических показателей на фоне лечения мы выявили, что статистически значимые различия были достигнуты в группах по следующим значениям: АСТ, АЛТ, общий билирубин, ГГТП, ОХС, ТГ, ЛПНП, ЛПВП (критерий Уилкоксона  $p < 0,05$ ). Это свидетельствует о положительном влиянии УДХК на углеводный и жировой обмен, а также на показатели цитолиза и холестаза, что было представлено в предыдущих наших исследованиях [16]. Положительная динамика на фоне терапии УДХК была выявлена по показателям ТГ, ЛПНП, ГГТП, Саp. Данные по динамике исследуемых показателей на фоне терапии (разница медиан до и после лечения) отражены на рисунке 3.

Для составления математической прогностической модели регресса стеатоза использовали множественную логистическую регрессию, в которую в качестве предикторов включали статистически значимые переменные (глюкоза крови, ИМТ, окружность талии и индекс стеатоза FLI). Исходя из полученных данных, мы составили формулу расчета прогностической модели регресса стеатоза:

$$P = \frac{1}{1 + e^{-(33,501 - 3,1Гл + 0,439ИМТ - 0,376ОТ + 0,106FLI)}}$$

Примечание: P — вероятность наступления события, Гл — уровень глюкозы крови в ммоль/л, ИМТ — индекс массы тела (кг/м<sup>2</sup>), FLI — расчетный индекс стеатоза печени

Чувствительность модели составила 92,6 %, а специфичность 73,3 %, а процент правильно классифицированных 85,7 %.

Таблица 2.

	Коэффициент регрессии	Стандартная ошибка	Значимость	ОШ Exp (B)	95 % ДИ для ОШ		1/ОШ
					Нижняя граница	Верхняя граница	
ПП(НУ)	0,07	0,029	0,017	1,072	1,013	1,136	0,932
НОМА	-0,456	0,184	0,013	0,634	0,218	0,442	1,577
Глюкоза крови (ммоль/л)	-0,909	0,317	0,004	0,403	0,217	0,750	2,480
ИМТ(кг/м <sup>2</sup> )	-0,130	0,060	0,029	0,878	0,782	0,987	1,138
ОТ(см)	-0,069	0,025	0,006	0,934	0,889	0,980	1,070
FLI	-0,034	0,014	0,014	0,966	0,940	0,993	1,035
ЭЗ (да/нет)	-1,384	0,584	0,018	0,251	0,080	0,787	3,984
CIRS-G	-2,808	1,069	0,009	0,060	0,007	0,490	16,6

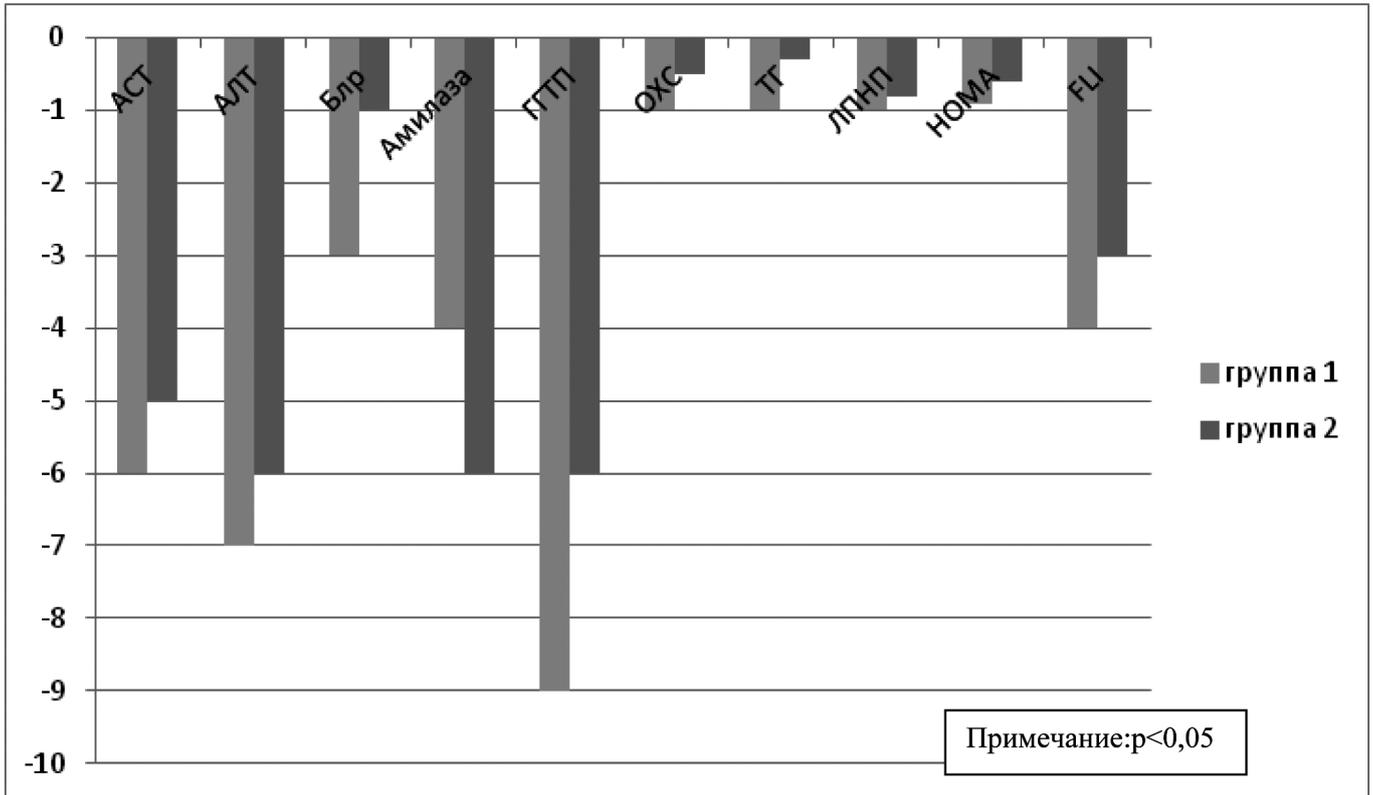


Рис. 3. Динамика показателей в группах на фоне терапии УДХК в течение 12 месяцев

Для оценки качества модели был проведен ROC-анализ. Площадь под кривой была равна 0,827 [0,701;0,953] при  $p < 0,001$ , что говорит об очень хорошей дискриминирующей способности модели. Если  $p < 0,5$ , то регресс стеатоза печени произойдет. На рисунке 4 отражена ROC кривая модели.

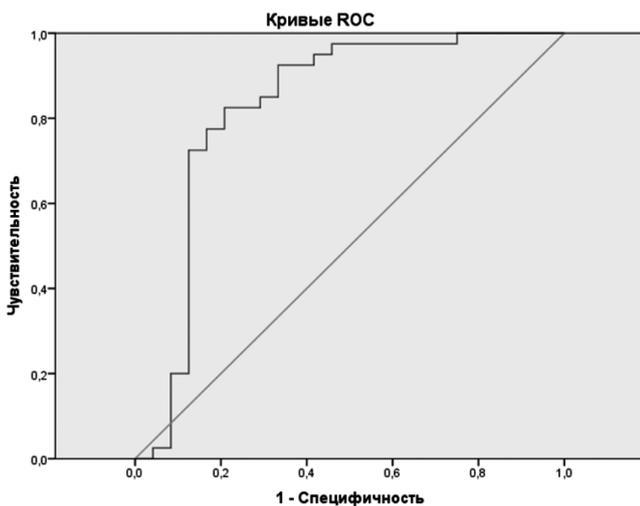


Рис 4. ROC-кривая прогностической модели регресса стеатоза

### Обсуждение

Прогностические факторы НАЖБП оказывают существенное влияние на исход терапии. Ожирение, дислипиде-

мия, гипергликемия натощак, являясь компонентами метаболического синдрома, патогенетически взаимосвязаны с НАЖБП. В настоящее время НАЖБП рассматривают как предиктор, определяющий развитие СД 2 типа и рекомендуют переименовать НАЖБП в МАЖБП (метаболически ассоциированную жировую болезнь печени) [17]. У большинства пациентов с ожирением и НАЖБП выявляются и нарастают по мере прогрессирования НАЖБП такие метаболические нарушения, как: дислипидемия, гипертриглицеридемия, снижение ЛПВП, нарушение толерантности к глюкозе, гиперинсулинемия, инсулинорезистентность [18]. У пациентов с ожирением распространенность НАЖБП намного выше, чем в популяции и достигает по данным разных исследований 75–93 %, при этом распространенность фиброза печени составляет 20–37 %, а цирроза печени 9–10 %. СД 2 типа развивается у пациентов с НАЖБП у 50–75 % [19]. В нашем исследовании ожирение встречалось у пациентов в 57 %, инсулинорезистентность в 32 %, высокая коморбидность была у 75 % лиц.

Широко используемым препаратом для терапии НАЖБП является УДХК. Известно, что УДХК оказывает на гепатоциты цитопротективное, антиоксидантное и антифибротическое действие, что благоприятно влияет на исход стеатоза и терапию коморбидных заболеваний. В эксперименте показано, что УДХК участвует в регуляции аутофагии и апоптоза в печени [20]. В исследовании с применением УДХК в течение года в дозе

28–35 мг/кг показано снижение маркеров фиброза печени по данным фибротеста, нормализация АСТ, АЛТ, уровня глюкозы крови и инсулина [21]. В нашем исследовании при применении Урсосан форте 15 мг/кг в течение 12 месяцев удалось достичь положительной статистически значимой динамики по показателям АСТ, АЛТ, ГГТП, ОХС, ТГ, НОМА индекса, индекса стеатоза FLI, показателю Сар эластометрии печени. В исследованиях показано, что УДХК обладает гиполлипидемическим эффектом, влияя на уровень ОХС и ЛПНП за счет снижения синтеза холестерина в печени и снижения всасывания его в кишечнике с пищей [22]. Метаанализ 2018 года показал положительное влияние УДХК на уровень гликемии, гликированного гемоглобина и инсулина [23]. В нашем исследовании на фоне терапии УДХК (Урсосан форте) произошло снижение глюкозы крови в 1 группе с  $Me=5,2$  до  $4,9$  ммоль/л ( $p=0,004$ ), во 2 группе с  $Me=6,2$  до  $6,0$  ммоль/л ( $p=0,02$ ), НОМА индекс снизился в 1 группе с  $Me=2,7$  до  $2,1$  ( $p=0,015$ ), во 2 группе с  $Me=4,1$  до  $3,2$  ( $p=0,003$ ), что говорит о положительном влиянии на углеводный обмен, показатель Сар эластометрии снизился в 1 группе от  $Me=270$  до  $218$  dB/m ( $p=0,002$ ), во 2 группе с  $Me=348$  до  $275$  dB/m ( $p=0,001$ ), что свидетельствует о уменьшении степени стеатоза на фоне терапии Урсосаном форте в течение 1 года.

Логистический анализ позволил выявить статистически значимые предикторы регресса стеатоза, ими оказались глюкоза крови, ИМТ, окружность талии и индекс стеатоза FLI. Повышение ИМТ, наличие висцерального

ожирения, высокий уровень гликемии натощак и изначально высокий индекс стеатоза FLI оказали негативное влияние в нашем исследовании на успех терапии УДХК. Воздействуя на эти метаболические факторы риска мы сможем улучшить прогноз у пациентов с НАЖБП и добиться регресса стеатоза. Таким образом, своим исследованием мы подтвердили, что краеугольным камнем в терапии НАЖБП стоит нормализация массы тела, окружности талии и уровня гликемии натощак с помощью рационального питания, увеличения физической активности, возможно, применения сахароснижающих препаратов и/или препаратов, влияющих на уровень инсулина и чувствительность инсулиновых рецепторов. Изменение образа жизни и снижение массы тела приводит к снижению инсулинорезистентности и уменьшению количества жира в печени, а степень снижения массы тела, связана со снижением гистологической активности в печени [24]. Прогностическая модель поможет практикующим терапевтам и гастроэнтерологам предсказать эффективность терапии НАЖБП с помощью УДХК в течение 1 года.

#### Выводы

Основными предикторами успешного лечения УДХК (Урсосан форте) в нашем исследовании были ИМТ, глюкоза крови, окружность талии и индекс FLI. От значения этих показателей зависел регресс стеатоза. При коррекции данных факторов терапия НАЖБП будет более эффективна.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Самородская И.В. Ожирение: оценка и тактика ведения. Санкт-Петербург: СпецЛит. 2016;103 2. Chowdhury MZ, Anik AM, Farhana Zetal. Prevalence of metabolic syndrome in Bangladesh: a systematic review and meta-analysis of the studies. BMC Public Health 2018; 18: 308
2. Лазебник Л.Б. и соавт. Неалкогольная жировая болезнь печени: клиника, диагностика, лечение. Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2021;185(1) с.4–52.
3. Буверов А.О. Клинико-патогенетические параллели НАЖБП и ЖКБ. Российский журнал гастроэнтерологии, гепатологии, колопроктологии. 2019;29(1):17–23.
4. Sha-sha Shen, Jiao-jiao Gong, Xi-wei Wang et al. Promotional effect of nonalcoholic fatty liver disease on Gallstone disease: A systematic review and meta-analysis. Turk Journal Gastroenterology. 2017;28(1):31–39
5. Диагностика и лечение неалкогольной жировой болезни печени: методические рекомендации для врачей. Под ред. Ивашкина В.Т. М.: МЕД пресс-информ; 2018
6. Комшилова К.А., Трошина Е.А. Ожирение и неалкогольная жировая болезнь печени: метаболические риски и их коррекция. Ожирение и метаболизм. 2015;2(12):35–39.
7. Chalasani N, Younossi Z, Lavine JE, Diehl AM, Brunt EM, Cusi K, Charlton M, Sanyal AJ. The diagnosis and management of nonalcoholic fatty liver disease: practice Guideline by the American Association for the Study of Liver Diseases, American College of Gastroenterology, and the American Gastroenterological Association. Hepatology. 2012;55:2005–2023
8. Younossi, Z.M., Koenig, A.B., Abdelatif, D., Fazel, Y., Henry, L. and Wymer, M. (2016) Global Epidemiology of Nonalcoholic Fatty Liver Disease-Meta-Analytic Assessment of Prevalence, Incidence, and Outcomes. Hepatology, 64, 73–84.
9. Liu J, Ayada I, Zhang X, et al. Estimating Global Prevalence of Metabolic Dysfunction-Associated Fatty Liver Disease in Overweight or Obese Adults. Clinical Gastroenterology and Hepatology. 2022;20(3)
10. Byrne CD, Targher G. NAFLD: A multisystem disease. J Hepatol. 2015; 62(15):S47–S64.
11. Fang YL, Chen H, Wang CL, Liang L. Pathogenesis of non-alcoholic fatty liver disease in children and adolescence: from “two hit theory” to “multiple hit model”. World Journal Gastroenterology. 2018; 24:2974–83
12. Xian YX, Weng JP, Xu F. MAFLD vs. NAFLD: shared features and potential changes in epidemiology, pathophysiology, diagnosis, and pharmacotherapy. Chin Med J. 2021;134:8–19.

13. Motamed N, Sohrabi M, Ajdarkosh N, Hemmasi G, Madi M, Winter F, etc. (2016) The index of fatty liver tissue compared to waist circumference for predicting non-alcoholic fatty liver disease. *Gastroenterologist World Journal*; 22(10): 3023–30.
14. Национальный консенсус для врачей по ведению взрослых пациентов с НАЖБП и ее основными коморбидными состояниями. Маевская М.В., Ивашкин В.Т., Котовская Ю.В., Ткачева О.Н. *Терапевтический архив*. 2022;94(2) с.216–253.
15. Уфимцева И.В., Пирогова И.Ю. Клиническое исследование применения Урсосан форте у пациентов с неалкогольной жировой болезнью печени и желчно-каменной болезнью (исследование КУРС). *Российский медицинский журнал. Медицинское обозрение/ Т. VI, № 5, 2022, с.213–220.*
16. Eslam M, Sanyal AJ, George J. On behalf of an international consensus panel. MAFLD: A consensus-driven proposed nomenclature for metabolic associated fatty liver disease. *Gastroenterology*. 2020;158(7):1999–2014.
17. European Association for the Study of the Liver (EASL); European Association for the Study of Diabetes (EASD); European Association for the Study of Obesity (EASO). EASL-EASD-EASO Clinical Practice Guidelines for the management of non-alcoholic fatty liver disease. *J Hepatol*. 2016;64(6):1388–402
18. Lazo M, Clark J. The epidemiology of nonalcoholic fatty liver disease:a global perspective. *Semin Liver Dis*.2008;28(4):339–50.
19. Wu P, Zhao J, Guo Y, et al. Ursodeoxycholic acid alleviates nonalcoholic fatty liver disease by inhibiting apoptosis and improving autophagy via activating AMPK. *BiochemBiophys Res Commun*. 2020;27;529(3):834–8.
20. Ratziu V, de Ledinghen V, Oberti F, et al. FRESGUN. A randomized controlled trial of high-dose ursodesoxycholic acid for nonalcoholic steatohepatitis. *Journal Hepatology*. 2011;54(5):1011-9.
21. Maton PN, Ellis HJ, Higgins MJ, Dowling RH. Hepatic HMG CoA reductase in human cholelithiasis: effects of chenodeoxycholic and ursodeoxycholic acids. *Eur. J. Clin. Invest*. 1980;10(4):325–32
22. Sánchez-García A, Sahebkar A, Simental-Mendía M, Simental Mendía LE. Effect of ursodeoxycholic acid on glycemic markers: A systematic review and meta-analysis of clinical trials. *Pharmacol Res*. 2018;135:144–9.
23. Vilar-Gomez E, Martinez-Perez Y, Calzadilla-Bertot L, et al. Weight Loss Through Lifestyle Modification Significantly Reduces Features of Nonalcoholic Steatohepatitis. *Gastroenterology*. 2015;149(2):367–78.

---

© Уфимцева Ирина Владимировна (ufimtsevaiv77@mail.ru); Яковлева София Васильевна (ysv9090831979@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## УСПЕШНОЕ КОМБИНИРОВАННОЕ ЛЕЧЕНИЕ ЯЗВ МАРТОРЕЛЛА

## SUCCESSFUL COMBINATION TREATMENT OF MARTORELLA ULCERS

**A. Fedorov**  
**I. Kalitko**  
**M. Chernyaev**  
**A. Faybushevich**

*Summary.* 75 years have passed since the introduction of the term «hypertensive trophic ulcer». Reports on Martorell's ulcer periodically appear in the scientific press, but this pathology continues to be poorly studied. The issues of the pathogenesis of differential diagnosis and treatment of this disease currently continue to cause discussion, which makes the study of this problem relevant.

There is description in the article of a case of hypertensive ulcer pathology of legs or Martorell's ulcers diagnostics, which are complications of long-standing and poor-controlled essential hypertension. The article describes a case of diagnosis of hypertensive ulcerative pathology of the legs or Martorell's ulcer, which are complications of prolonged and poorly controlled essential hypertension.

A 64-year-old female patient complained of the presence of long-term unhealed, painful trophic ulcers in the lower third of the right shin. The onset of the disease was associated with an insect bite, which first caused redness and itching, and then the appearance of an ulcerative defect that occurred 8 months before going to the surgeon. It is known from the anamnesis that the patient suffers from arterial hypertension for a long time with maximum blood pressure values of 180/100 mm Hg. Without systemic antihypertensive therapy. In clinical and biochemical blood and urine tests — without pathology. Ultrasound duplex scanning of the vessels of the lower extremities was performed, in which no stenotic lesions of the main arteries, as well as pathology of superficial and deep veins were detected. A sample of the leg being separated from the wound was taken for bacteriological examination to determine sensitivity to antibiotics, according to the results of which the Enterobacteriaceae microorganism sensitive to ciprofloxacin was isolated. Based on complaints, anamnesis data, laboratory and instrumental methods of treatment, consultations of specialists, the diagnosis was made: Arterial hypertension of the III stage, 3rd degree, risk of cardiovascular 3. Hypertensive trophic ulcer of the right shin. The diagnosis was confirmed histologically. Treatment tactics were developed, which included conservative therapy and surgical treatment. Conservative therapy consisted of antihypertensive drugs, a course of rheological therapy with drugs from the prostaglandin group, antibacterial therapy and local treatment of trophic ulcers. Surgical treatment consisted in excision of trophic ulcers within healthy tissues with autodermatoplasty with a split flap. Complex therapy was continued in the postoperative period. The patient was discharged on the 10th day after the operation. 24 days after the operation, a good epithelialization of trophic ulcers was determined, the pain syndrome regressed, and blood pressure stabilized. The above case demonstrates the need to inform the professional medical community about the features of Martorell's ulcers and the likelihood of their occurrence.

*Keywords:* hypertensive ulcers of legs, Martorell's ulcers, case report, essential hypertension.

**Федоров Артем Вячеславович**

Аспирант, Российский университет дружбы народов  
имени Патриса Лумумбы  
1032131527@pfur.ru

**Калитко Илья Игоревич**

врач-ординатор,  
ООО «Клиника инновационной хирургии»  
ilya.kalitko@gmail.com

**Черняев Михаил Викторович**

кандидат медицинских наук, ассистент, Российский  
университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы  
mikhailcherniaev@mail.ru

**Файбушевич Александр Георгиевич**

кандидат медицинских наук, Российский университет  
дружбы народов имени Патриса Лумумбы

*Аннотация.* Приведен клинический случай успешного лечения язвы Марторелла. Представлена пациентка 64 лет, которая обратилась на прием с жалобами на наличие длительно незаживающих, болезненных трофических язв в нижней трети правой голени. В ходе диагностического обследования, на основании данных анамнеза, физического осмотра и инструментальных методов исследования был установлен диагноз «гипертоническая трофическая язва Марторелла». Диагноз подтвержден гистологически. Была выработана тактика лечения, включавшая в себя консервативную терапию и хирургическое лечение. Консервативное лечение состояло из антигипертензивных препаратов, препаратов из группы простагландинов, антибиотикотерапии и местного лечения трофической язвы. Хирургическое лечение заключалось в иссечении трофических язв в пределах здоровых тканей с аутодермапластикой расщепленным лоскутом. В послеоперационном периоде в одной из двух ран отмечался краевой лизис кожного трансплантата, закончившийся в итоге вторичной эпителизацией. Пациентка выписана на 10 день после операции. Через 24 дня после операции определялась хорошая эпителизация трофических язв, болевой синдром регрессировал, артериальное давление стабилизировалось. Приведенный случай демонстрирует необходимость информирования профессионального медицинского сообщества об особенностях и вероятности встречаемости язв Марторелла.

*Ключевые слова:* гипертоническая болезнь, гипертонические язвы нижних конечностей, язвы Марторелла, клинический случай.

**В** 1945 г. Марторелл описал 4 больных с гипертонической болезнью, у которых на нижних конечностях образовались язвы со своеобразной картиной, что позволило автору выделить их в самостоятельную нозологическую единицу [1]. В 1947 г. Фарбер и Хайнс уточнили гистопатологию данного заболевания и ввели термин «гипертоническая ишемическая язва голени», который используется до сих пор [2]. Несмотря на то, что с момента введения термина прошло 75 лет, а в научной печати периодически появляются сообщения, посвященные язве Марторелла, данная патология продолжает оставаться малоизученной. Вопросы патогенеза, дифференциальной диагностики и лечения данного заболевания в настоящее время продолжают вызывать дискуссии, что делает актуальным изучение данной проблемы.

Гипертоническая ишемическая язва голени (Язва Марторелла или некротический ангиодерматит) — это редко встречающаяся патология, характеризующаяся прогрессирующим и болезненным некротическим изъязвлением кожи нижних конечностей и выраженным болевым синдромом. В основе заболевания неконтролируемая гипертоническая болезнь, которая приводит к плазматическому пропитыванию стенок артериол и гиалинозу, вследствие чего возникает облитерация мелких артерий и артериол. Кроме того, повреждение микроциркуляторного русла сопровождается значительным повышением венозного давления в микрососудах и формированием артериоловеноулярных шунтов. Эти процессы снижают микроциркуляцию в коже, вследствие чего развивается локальная недостаточность кровообращения и гибель поверхностных слоев кожи [3,4].

Диагностика язв Марторелла может представлять сложность по причине довольно редкого их проявления в «чистом виде». Зачастую пациенты с гипертонией имеют коморбидный статус. У таких пациентов трофические изменения на нижних конечностях, помимо гипертонического гиалиноза, могут быть обусловлены хронической сердечной, артериальной, венозной недостаточностями или их комбинацией. Однако мы не раз наблюдали больных с трофическими язвами нижних конечностей, страдавших злокачественной, зачастую неконтролируемой, артериальной гипертензией без гемодинамически значимых стенозированных изменений в магистральных артериях нижних конечностей и хронической венозной патологии. Этот факт дает основания полагать, что данный тип язвенного поражения встречается чаще описанных в литературе случаев и является заболеванием с заниженной частотой выставляемого диагноза.

Пациент, женщина 64 лет обратилась на прием с жалобами на наличие длительно не заживающих, болезненных трофических язв в нижней трети правой голени. Начало заболевания связывала с укусом насекомого, который вызвал вначале покраснение и зуд, а затем по-

явление язвенного дефекта, произошедшим за 8 месяцев до обращения к хирургу. Из анамнеза известно, что пациентка длительно страдает артериальной гипертензией с максимальными значениями АД 180/100 мм рт.ст., антигипертензивную терапию не получала. При осмотре состояние пациентки оценивалось как средней тяжести ввиду наличия сильного болевого синдрома. Артериальное давление на момент осмотра 160/80 мм. рт. ст. Тоны сердца приглушены, ритмичны, ЧСС 72 уд/мин. Кожные покровы нижних конечностей физиологической окраски, теплые на ощупь. Варикозного расширения вен нижних конечностей не выявлено, пульсация определяется на всем протяжении движения и чувствительность сохранены. Отмечаются поверхностные трофические язвы 6 см в диаметре на задней поверхности и 4 см на латеральной поверхности нижней трети голени, неравномерной глубины. Дно первой из них со скудными грануляциями покрыто фибрином, имеется краевой участок некроза. Вторая язва с подрытыми краями, участками грануляций без налетов и отделяемого. Кожа вокруг ран сухая, уплотненная, с наличием трещин и шелушения.

На этапе первичного приема пациентке выполнено ультразвуковое дуплексное сканирование сосудов нижних конечностей, при котором стенозированных поражений магистральных артерий, как и патологии поверхностных и глубоких вен не выявлено. Произведен забор отделяемого из язвы голени для бактериологического исследования с определением чувствительности к антибиотикам, по результатам которого выделен микроорганизм *Enterobacter cloacae*, чувствительный к ципрофлоксацину.

Пациентка осмотрена терапевтом, кардиологом, дерматологом. На основании жалоб, данных анамнеза, лабораторных и инструментальных методов исследования, консультаций специалистов был установлен диагноз: Гипертоническая болезнь III стадии, 3-й степени, риск ССО 3. Гипертоническая трофическая язва правой голени. Была выработана следующая тактика лечения:

1. Системная антигипертензивная терапия: Эналаприл 2,5 мг 2 раза в день, индапамид 1,5 мг 1 раз в день
2. Курс консервативной терапии препаратом PGE1 (Алпростадил 20 мг)
3. С целью купирования болевого синдрома: Финлепсин 200 мг 2 раза в день, Кеторолак 60 мг 2 раза в день (при болях)
4. Антибактериальная терапия: Ципрофлоксацин 200 мг 3 раза в день; Метронидазол 500 мг 3 раза в день

С целью более быстрого очищения раны от гнойно-фиброзного экссудата местно применялись протеолитические ферменты. Также язвы ежедневно обрабатывались растворами щадящих антисептиков, не обладающих

цитотоксическим действием, с последующим наложением асептических повязок с йодопираном.

На фоне проведенной терапии отмечалась положительная динамика в виде стабилизации значений артериального давления, уменьшения болевого синдрома, прекращения дальнейшего распространения язвенного дефекта и очищения язв от некротических тканей. На 7 сутки госпитализации выполнено плановое оперативное лечение — иссечение трофических язв с аутодермапластикой расщепленным лоскутом. По периметру большой раны наложен внутрикожный кисетный шов с целью уменьшения площади раны после циркулярного иссечения тканей. Сразу же после операции пациентке наложением гипсовой передней лонгеты фиксирован голеностопный сустав для профилактики снятия кожного лоскута с раны. При гистологическом исследовании выявлен гиалиноз стенок сосудов с пролиферацией эндотелия и их облитерацией. В сосудах среднего калибра отмечается разрастание соединительной ткани стенки с участками облитерации просвета. Эти данные не противоречили клиническому диагнозу.

Послеоперационный период протекал без осложнений, продолжена комплексная терапия, направленная на приживление кожного трансплантата. К 10 дню после операции трофическая язва на латеральной поверхности в процессе эпителизации, кожный лоскут прижился по всей поверхности раны. В большой ране по задней поверхности голени лоскут первоначально адекватно прижился только в центре операционной раны, закрыв в общей сложности 80 % периметра язвы, по бокам раны отмечался лизис трансплантата. Пациентка выписана на амбулаторный этап лечения, где продолжены перевязки асептическими повязками с йодопираном.

На контрольном осмотре через 17 дней после операции — состояние и самочувствие удовлетворительное, болевой синдром купирован. Малая язва правой голени эпителизируется. По краям большей язвы начали образовываться участки грануляций, в центре — хорошая эпителизация. Значения АД стабилизировались на уровне 130–140/80–85 мм рт.ст на фоне постоянного приема гипотензивных препаратов.

На втором консультативном осмотре через 24 дня после операции по краям большей раны началась вторичная эпителизация ранее лизированных участков.

В приведенном случае важным фактором, позволившим определить тактику дальнейшего лечения, стала своевременная и точная установка диагноза. Язвы Марторелла встречаются в основном у пациентов старшей возрастной категории (старше 40 лет). Длительное время считалось, что данная патология встречается преимущественно у женщин, однако анализ описанных случаев

говорит о примерно равном распределении между полами [5]. Типичной локализацией язв являются средняя и нижняя трети голени и стопа (рис 5). Иницирующими факторами могут стать расчесы, травма или другие причины, которые больной не всегда может восстановить в своей памяти. Первоначально возникает небольшое болезненное синюшно-красное пятно или папула, иногда с геморрагическим компонентом, на месте которого вследствие некроза образуется изъязвление. На этом этапе пациенты редко обращаются за медицинской помощью, а в случае обращения установить диагноз «гипертоническая язва» практически невозможно ввиду отсутствия язвенных дефектов. Дальнейшее течение заболевания приводит к появлению неглубоких язв с вялой грануляцией и скудным отделяемым [7]. При отсутствии адекватного лечения размер язв прогрессирует. Во многих случаях присоединяется инфекция. Характерной особенностью гипертонических ишемических язв является их чрезвычайная болезненность, не всегда купируемая приемом НПВС. Диагноз гипертоническая ишемическая язва должен соответствовать следующим критериям [8]:

1. Отсутствие хронической венозной или артериальной недостаточности нижних конечностей.
2. Длительная тяжелая форма гипертонической болезни без адекватной антигипертензивной терапии;
3. Отсутствие хронической венозной или артериальной недостаточности нижних конечностей.
4. Клинический диагноз должен быть подтвержден данными гистологического исследования, во время которого находят явления эндоартериальной пролиферации и субэндотелиального гиалиноза.

Таким образом, мы можем с уверенностью утверждать, что представленный клинический случай соответствует всем диагностическим критериями ГЯНК.

В лечении язв Марторелла наибольшим успехом отличается комбинированный метод, сочетающий в себе хирургическое, медикаментозное и местное лечение [9].

Основой патогенетической терапии синдрома Марторелла является комбинация антигипертензивных препаратов. Неконтролируемая гипертоническая болезнь сводит к минимуму шансы достижения стойкого клинического успеха. Важно отметить, что многие авторы, занимающиеся практическим лечением язв Марторелла, рекомендуют по возможности избегать назначения бета-адреноблокаторов. Считается, что данная группа препаратов, снижает сердечный выброс и соответственно ухудшает давление кожной перфузии [10]. Также, учитывая яркую выраженность болевого синдрома, пациенты с гипертоническими язвами получают обезболивающую терапию препаратами из группы НПВС, а в ряде случаев и опиоидные анальгетики. Поскольку боли при язвах

Марторелла имеют нейропатический характер, возможно назначение эффективных при данном виде болей препаратов из группы антиконвульсантов (прегабалина или карбамазепина). Ряд авторов отмечает положительный эффект от системного применения синтетических аналогов естественного простагландина E1 (Алпростадил) [11], одними из основных эффектов которых являются вазодилатация сосудов микроциркуляторного русла и снижение периферического сосудистого сопротивления. Поскольку во многих случаях к язвенным дефектам присоединяется инфекция, целесообразно назначение антибактериальной терапии. Топическая терапия язв Марторелла включает в себя антисептики, перевязочные средства различных групп и протеолитические ферменты. Выбор топической терапии зависит от фазы раневого процесса и степени экссудации. Хирургическое лечение данной патологии заключается в иссечении язв до неизменённых тканей с последующей аутодермапластикой. Она наилучшим образом подходит для ускорения заживления и минимизации длительно болевого синдрома.

Гипертоническая язва Марторелла — сложный и редко устанавливаемый диагноз. Для диагностики необходимо опираться на анамнестические данные, клинические проявления и данные инструментальных методов исследования. Также важное значение имеет гистологическое исследование, которое может помочь в окончательной установке диагноза?? при неубедительной клинической картине заболевания и сомнительных данных инструментального обследования. Язва Марторелла — заболевание, требующее комплексного подхода к терапии. Тактика лечения должна обязательно включать адекватную антигипертензивную терапию, адекватное обезболивание с учетом нейропатического характера болей и хирургическое лечение. Хирургическое лечение является наиболее радикальным методом способным свести к минимуму распространение язвы и купировать болевой синдром, в связи с чем мы считаем необходимым скорейшее начало хирургического лечения гипертонической язвы Марторелла.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Martorell F. Las ulceras supramaleolares por arteriolitis de las grandes hipertensas = Supramaleolar ulcers Due to Arteriolitis of the Great hypertensive. *Actas (Reun Cientif Cuerpo Facul) Inst Policlinico Barcelona*. 1945;1:6–9.
2. Farber E.M., Hines E.A. Jr, Montgomery H., Craig W. The Arterioles of the Skin in Essential hypertension. *J Invest Dermatol*. 1947;9(6):285–298. Available at: [https://jiddonline.org/article/S0022-202x\(15\)50212-1/pdf](https://jiddonline.org/article/S0022-202x(15)50212-1/pdf).
3. Kolios A.G. A, Hafner J., Luder C., Guenova E., Kerl K., Kempf W. et al. Comparison of Pyoderma Gangrenosum and Martorell hypertensive Ischaemic Leg ulcer in a Swiss Cohort. *Br J Dermatol*. 2018;178(2):e125–e126. doi: 10.1111/bjd.15901
4. Deinsberger, J., Brugger, J., Tschandl, P., Meier-Schiesser, B., Anzengruber, F., Bossart, S., Weber, B. (2021). Differentiating Arteriolosclerotic Ulcers of Martorell from Other Types of Leg Ulcers Based on Vascular Histomorphology. *Acta dermato-venereologica*, 101(5).
5. Malhi H.K., Didan A., Ponoş S., Kumarasinghe S.P. Painful Leg ulceration in a Poorly Controlled hypertensive Patient: A Case Report of Martorell ulcer. *Case Rep Dermatol*. 2017;918(1):95–102. doi: 10.1159/000468977.
6. Obermayer A., Maier A., Zacherl J., Hitzl W., Steinbacher F. Lateral Fasciectomy Sparing the Superficial Peroneal Nerve with Simultaneous Mesh Graft in Non-healing Lateral Leg ulcers of Diverse Vascular Origins: Surgical Technique, Short — and Long-term Results from 44 Legs. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2016;52(2):225–232. doi: 10.1016/j.ejvs.2016.02.023.
7. Hines E.A. Jr, Farber E.M. Ulcer of the Leg Due to Arteriosclerosis and Ischemia Occurring in the Presence of Hypertensive Disease (Hypertensive-Ischemic Ulcers). *Proc Staff Meet Mayo Clin*. 1946;21(18):337–346.
8. Freire B.M., Fernandes N.C., Piñeiro-Maceira J. Martorell's hypertensive ulcer: case report. *An Bras Dermatol*. 2006;81(5 Supl. 3):S327–31
9. Болдин, Б.В., Голосницкий, П.Ю., Богачёв, В.Ю., Родионов, С.В., Дизенгоф, И.М. (2021). Язва Марторелла: обзор литературы и собственное клиническое наблюдение. Стационарозамещающие технологии: Амбулаторная хирургия, 18(1), 54–69.
10. Dissemond J. et al. Systemic therapies for leg ulcers // *JDDG: Journal der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft*. — 2018. — Т. 16. — № 7. — С. 873–890.
11. Sakakibara Y., Jikuya T., Mitsui T. Application of lipid microspheres containing prostaglandin E1 ointment to peripheral ischemic ulcers // *Dermatology*. — 1997. — Т. 195. — № 3. — С. 253–257.
12. Pacifico F., Acernese C.A., Di Giacomo A. PGE(1) Therapy for Martorell's ulcer. *Int Wound J*. 2011;8(2):140–144. doi: 10.1111/j.1742-481x.2010.00760.x.
13. Фисталь, Э.Я., Ватутин, Н.Т., Тарадин, Г.Г., Гончарук, М.С., Грищенко, И.С., & Василенко, И.В. (2018). язвы Марторелла. Вестник дерматологии и венерологии, 94(3)

## Наши авторы

**Abramov V.** — Ph.D., assistant professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI)

**Alyushina E.** — Moscow State Linguistic University

**Andrianova A.** — Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (Krasnoyarsk)

**Andryushenkov D.** — Postgraduate student, MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA)

**Antipova E.** — Doctor of Biological Sciences, Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V.P. Astafiev

**Anufrieva T.** — Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Forest Resources Management Laboratory, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Krasnoyarsk)

**Babich P.** — Pacific National University (Khabarovsk)

**Bakhshaliyeva K.** — Doctor of Biological Sciences, professor, Head of Laboratory, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan

**Baturin V.** — MD, Professor, Stavropol State Medical University

**Baychorov E.** — MD, Professor, Stavropol State Medical University

**Bayramkulov E.** — PhD, orthopedic traumatologist, State Budgetary Healthcare Institution of the Stavropol Territory «Stavropol Regional Clinical Hospital»

**Besleneev A.** — Adjunct, Academy of Management of the Ministry of Internal Affairs of Russia

**Bidzhieva F.** — Senior lecturer, Stavropol State Medical University

**Biryulin V.** — Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University, Kursk

**Bolotin K.** — Postgraduate student, MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA)

**Borisov A.** — post-graduate Student, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI)

**Botashev R.** — Stavropol State Medical University

**Bunyatova L.** — Acting Associate Professor, PhD, Sumgayit State University

## Our authors

**Byakhova V.** — associate professor, candidate of Veterinary Sciences, RUDN University

**Chernyaev M.** — Candidate of Medical Sciences, Assistant, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

**Chernysheva T.** — Ph.D., assistant professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI)

**Evtushenko N.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, V.P. Ivannikov Institute of System Programming of the Russian Academy of Sciences, National Research University Higher School of Economics, Moscow

**Faybushevich A.** — Candidate of Medical Sciences, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

**Fedorov A.** — Postgraduate student, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

**Fischev S.** — MD, Professor, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Gandzha N.** — Surgeon, State Budgetary Healthcare Institution of the Stavropol Territory «City Clinical Hospital No. 2»

**Gerasimova E.** — Stavropol State Medical University

**Germanova S.** — Senior Lecturer, RUDN University

**Godnev A.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

**Goncharova O.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Amur State Medical Academy

**Hadi N.** — Postgraduate student, MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA)

**Hasanova A.** — Acting Associate Professor, Ph.D., Sumgayit State University

**Isayeva K.** — Acting Associate Professor, Ph.D., Sumgayit State University

**Ivashchuk O.** — Doctor of Technical Sciences, Professor, Belgorod State National Research University

**Kalitko I.** — resident doctor, LLC «Clinic of Innovative Surgery»

**Karelova O.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor, Moscow State Linguistic University; Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow)

**Karpova R.** — Doctor of Medicine, Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

**Karsanov A.** — Candidate of Medical Sciences, docent, North Ossetian State Medical Academy (Vladikavkaz)

**Kondratyuk A.** — PhD, Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Koriagin V.** — Perm State Medical University academician E.A. Wagner

**Koriagina N.** — Doctor of medical sciences, professor, Perm State Medical University academician E.A. Wagner

**Kozlov Yu.** — Flaw detection engineer, industrial safety expert, developer programmer Microsoft Certified Solution Developer, Siberian State Aerospace University, Krasnoyarsk; Scientific Center for Dual-use Aerospace Technologies NC «SPECTRUM», Moscow

**Kudelina D.** — Ph. D. of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University, Russia, Kursk

**Kurakin V.** — Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

**Lebedeva Yu.** — Postgraduate student, Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky

**Lisovskaya D.** — Dermatovenerologist, cosmetologist, trichologist, Clinic of aesthetic medicine Elixir Estate, Samara

**Ma Jiahui** — Lomonosov Moscow State University

**Mahmudova S.** — Lecturer, Ganja State University

**Maltsev A.** — Applicant, Perm State Medical University academician E.A. Wagner; cardiologist of Clinical Cardiology Dispensary

**Maskin S.** — Doctor of Medical Sciences, professor, Volgograd State Medical University (Volgograd)

**Maslennikov V.** — Russian Technological University MIREA

**Maslova V.** — Peoples Friendship University of Russia MD, Professor, Stavropol State Medical University

**Mikhailov D.** — Head of the partner sales channel «Brusnika specialized developer», Yekaterinburg

**Molchanova E.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Amur State Medical Academy

**Nekrasova T.** — Candidate of Medicine, Associate Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

**Pavlova S.** — PhD, Associate Professor, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Perepelkin V.** — graduate student, Moscow State University of Technology and Management

**Pirogova I.** — MD, Professor, Federal State Autonomous Educational Institution in RUDN

**Pisareva N.** — Graduate student, Kursk State University

**Ponomaryova Yu.** — Ph.D. in Biology, Senior Researcher, Forest Resources Management Laboratory, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Krasnoyarsk)

**Popov O.** — Ph.D., professor, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI)

**Popukaylo V.** — Doctor of Philosophy in Informatics, Associate Professor, Shevchenko State University of Pridnestrovie

**Pototsky D.** — Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

**Pronina E.** — cand. Economy Sciences, Associate Professor, Russian Technological University MIREA, Moscow

**Puzdyreva M.** — PhD, Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Reshetnikova L.** — Candidate of Medical Sciences, Assistant, Amur State Medical Academy

**Rozhkova M.** — Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Ruszkova K.** — Postgraduate student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

**Sambros N.** — Senior Lecturer, RUDN University

**Sevastyanov A.** — MD, Professor, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Shchekoturov I.** — Candidate of Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

**Shirokova E.** — National Research Tomsk State University

**Shmelyova A.** — Postgraduate student, Shevchenko State University of Pridnestrovie

**Shoberg A.** — Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Pacific National University (Khabarovsk)

**Shoberg G.** — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

**Shtorina A.** — PhD, Associate Professor, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Smolyannikov I.** — Chief Specialist — Researcher, Federal state autonomous research institution «Starovoytov Center of Information Technologies and Systems for Executive Power Authorities»

**Spitsyna T.** — Ph.D. of Technical Sciences. Senior Researcher, Forest Resources Management Laboratory, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Krasnoyarsk)

**Tarasyev A.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg

**Tchaikovskaya I.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Donetsk National Medical University named after M. Gorky

**Trunova O.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Donetsk National Medical University named after M. Gorky

**Tsesar A.** — Moscow Automobile and Highway State Technical University (MADI)

**Tsoroeva L.** — Therapist, Ingush State University

**Tyukin G.** — IT SOMEKS LLC (*Arkhangelsk*)

**Tyukov A.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Volgograd State Technical University

**Ufimtseva I.** — gastroenterologist, LLC Medical Center «Lotus», Chelyabinsk

**Ushkova N.** — Postgraduate student, MIREA — Russian Technological University (RTU MIREA)

**Vakhotsky V.** — Candidate of Medical Sciences, docent, North Ossetian State Medical Academy (Vladikavkaz)

**Vasiliev R.** — Moscow State University

**Vasilyeva N.** — Assistant, St. Petersburg State Pediatric Medical University

**Vereina N.** — MD, Professor, South Ural State Medical University, Chelyabinsk

**Vishnevetsky A.** — Volgograd State Technical University

**Vysotskaya A.** — Assistant, Russian Technological University MIREA, Moscow,

**Yakovleva S.** — cardiologist, head of the department of therapy of LLC Medical Center «Lotus» Chelyabinsk

**Zabrodnyaya V.** — Applicant, Donetsk National Medical University named after M. Gorky

**Zharkova M.** — Candidate of Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

**Zinchenko A.** — Assistant, RUDN University

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оста вляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).