ISSN 2223–2966

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 4 2025 (АПРЕЛЬ)

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

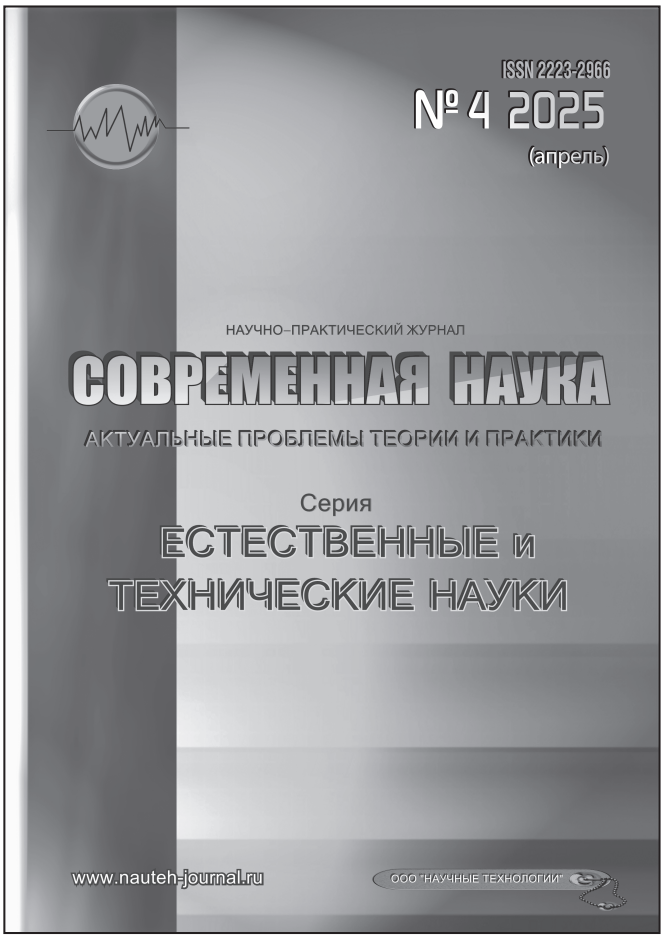
Подписной индекс издания
в каталоге агентства «Пресса России» — 80016

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.х, 2.3.х, 3.1.х)



В НОМЕРЕ:

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

Издатель:
Общество с ограниченной ответственностью
«Научные технологии»

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

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

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

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

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 21.04.2025 г. Формат 84х108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966

© Журнал Современная наука: актуальные проблемы теории и практики: Серия «Естественные и Технические науки»

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 ступени 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. Серикбаева

Корнеев Андрей Мастиславович — 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

СОДЕРЖАНИЕ
CONTENTS

Общая биология

Иванченкова О.А., Лукашов С.В., Гамазин В.П., Ноздрачева Е.В. — Экологическая оценка возможности использования карбонатных отходов в качестве мелиоранта для раскисления почв
Ivanchenkova O., Lukashov S., Gamazin V., Nozdracheva E. — Environmental assessment of the possibility of using carbonate waste as a reclamation agents for soil decoxidation. 8

Магомедов А.М., Омарова П.А., Гарунов О.М., Гаджиева М.А., Гасбанова З.И. — Влияние изменения режима рек Дагестана на биоразнообразие прибрежных экосистем
Magomedov A., Omarova P., Garunov O., Gadzhieva M., Gasbanova Z. — The impact of changes in the regime of Dagestan's rivers on the biodiversity of coastal ecosystems. 14

Млынар Е.В., Хованский И.Е., Дмитрович В.В. — Сохранение экосистемы озера Рогульковое путем создания особо охраняемой природной территории
Mlynar E., Khovansky I., Dmitrovich V. — Conservation of the ecosystem of Lake Rogulkovoe by creating a specially protected natural area 18

Семенова Н.П. — Разработка принципов и механизмов, обеспечивающих устойчивое развитие человеческого общества при сохранении биологического разнообразия и стабильного состояния природной среды
Semenova N. — Development of principles and mechanisms that ensure the sustainable development of human society while preserving biological diversity and a stable state of the natural environment 22

Тохтарь Л.А., Жиляева Н.В., Черных В.А., Тохтарь В.К., Третьяков М.Ю., Бирюков Д.В. — Влияние состава субстратов на морфофизиологические параметры эфиромасличных растений-регенерантов семейства lamiaceae при адаптации к условиям ex vitro
Tokhtar L., Zhilyaeva N., Chernykh V., Tokhtar V., Tretyakov M., Biryukov D. — Influence of substrate composition on morphophysiological parameters of essential oil plants-regenerators of the family lamiaceae during adaptation to ex vitro conditions. 27

Информатика, вычислительная техника и управление

Ворганов А.А., Курдюмов И.А., Прохоров В.А., Жилин Г.В. — Применение машинного обучения для адаптации структуры военных вычислительных систем в задачах управления БПЛА
Vorganov A., Kurdyumov I., Prokhorov V., Zhilin G. — The use of machine learning to adapt the structure of military computing systems in UAV control tasks 35

Гайдуков Д.В., Пиотровский Д.Л. — Перспективы автоматизированного производства БПЛА в России
Gaydukov D., Piotrovsky D. — Prospects of automated UAV production in Russia 41

Гао Тяньцы, Бо Ян, Шэнжэнь Жао — Роботизированное обучение на основе Q-Learning и ANN с использованием демонстраций (ADQN)
Gao Tianci, Bo Yang, Shengren Rao — Robotic Learning Based on Q-Learning and ANN Using Demonstrations (ADQN) 48

Гессен П.А., Сараджишвили С.Э. — Система повышения качества работы оптико-электронных комплексов умного дома
Gessen P., Saradgishvili S. — System for improving the quality of operation of optical-electronic complexes of a smart home 55

Головков Е.В. — Архитектура и задачи программного комплекса по изучению и тестированию стеганографических систем и программных моделей шифрования с использованием хаотических преобразований

Golovkov E. — Architecture and tasks of a software complex for studying and testing steganographic systems and software encryption models using chaotic transformations 61

Гончаров К.А. — Обработка нечетких данных в автоматизированных системах решения задач многокритериального анализа альтернатив
Goncharov K. — Processing of fuzzy data in automated systems for solving problems of multicriterial analysis of alternatives.....68

Горбунов К.Д., Иванов С.Е. — Сравнительный анализ эффективности популярных алгоритмов поиска, анализа и фильтрации информации с применением систем интеллектуализации
Gorbunov K., Ivanov S. — Comparative analysis of the efficiency of popular algorithms for searching, analyzing, and filtering information using intelligence systems 72

Горячкин Б.С., Канаев А.А., Паршева О.А. — Построение онтологической модели использования информационных ресурсов и сервисов в социальном управлении (на примере карты болельщика)
Goryachkin B., Kanaev A., Parsheva O. — Building an ontological model of the use of information resources and services in social management (on the example of a fan card) 77

Дьяченко Л.А., Манушкина М.М., Криницин П.Г., Шухратзода Мирзоюнус — Методика тестирования пригодности программного обеспечения с использованием нейросетевых технологий для решения юридических задач на примере анализа правовых рисков заключения договора в деятельности коммерческой организации
Dyachenko L., Manushkina M., Krinitsin P., Shuhratzoda Mirzoyunus — Methodology for testing the suitability of software using neural network technologies for solving legal tasks: a case study of legal risk analysis in contract conclusion in the activities of a commercial organization 85

Емельянов Е.Г. — Преимущества извлечения, обработки и загрузки данных средствами plus 7 formit в единые хранилища данных
Emelyanov E. — Advantages of extracting, processing and loading data with plus 7 formit into in data warehousing 89

Ермолаев А.А. — Адаптация закона управления неголономных роботов для морских судов
Ermolaev A. — Adaptation of control law of non-holonomic robots for marine vessels 92

Князев В.В., Шварцбург Л.Э. — Устройства FACTS в контексте обеспечения энергоэффективности машиностроительных производств
Knyazev V., Shvartsburg L. — FACTS devices in the context of improving energy efficiency in machine-building industries 96

Коновалов М.А., Амосов В.В., Петров А.В. — Дизайн-система для приложений под платформу iOS
Konovalov M.A., Amosov V.V., Petrov A.V. — Design System for Applications on the iOS Platform..... 103

Малявин М.Ю. — Анализ техник оптимизации производительности веб-приложений: комплексный подход
Malyavin M. — Analysis of web application performance optimization techniques: a comprehensive approach 109

Моляков А.С. — Научно-технологические решение по обеспечению гибридной защиты современных суперкомпьютеров в условиях сетецентрических кибервойн
Molyakov A. — Scientific and technological solutions for providing hybrid protection of modern supercomputers in the conditions of network-centric cyberwars..... 114

Нуйя О.С., Сержантова М.В., Слабогорская А.А., Крылов Д.М. — Алгоритмы бережливого управления складскими запасами на современном производстве
Nuyya O., Sergeantova M., Slabogorskaya A., Krylov D. — Algorithms of safe management of storage resources in modern production 119

Олимпиев С.А., Неклюдов А.В. — Применение ar-элемента в линейных моделях для анализа характеристик элементов ТЭС
Olimpiev S., Neklyudov A. — Application of ar-element in linear models to analyze characteristics of thermal power plant elements 126

Прохоров В.А., Мазнин Д.Н. — Информационная безопасность для концепции BYOD

Prokhorov V., Maznin D. — Information security for the BYOD concept 133

Степанов М.А. — Разработка модели данных цифрового следа проектов
Stepanov M. — Development of a data model for the digital footprint of projects 136

Тимаков К.А. — Создание цифровых двойников сочлененных объектов на основе их взаимодействия
Timakov K. — Creating digital doubles of articulated objects based on their interaction 142

Тоичкин Н.А. — Проектирование информационной системы для реализации задачи принятия решений с использованием методов нечеткой логики
Toichkin N. — Designing an information system for the implementation of decision-making problems using fuzzy logic methods 152

Уманцева О.О. — Проблемы автоматизации экспертной деятельности при анализе биологических следов в криминалистической практике
Umantseva O. — Problems of automating expert activities in the analysis of biological traces in forensic practice 158

Хабаров М.Э., Ловцов В.А., Тяжельникова К.С., Гуренко В.В. — Модель прогнозирования временных рядов на примере валютных котировок
Khabarov M., Lovtsov V., Tiazhelnikova K., Gurenko V. — Time series forecasting model based on the example of currency quotations 164

Чжан Хаосян — Автоматизация производственной логистики: оптимизация процессов и снижение затрат
Zhang Haoxiang — Automation of production logistics: process optimization and cost reduction 170

Яровиков А.С. — Применение методов анализа данных в инфосреде мегаполиса
Yarovikov A. — Application of data analysis methods in the information environment of a megalopolis 174

Клиническая медицина

Ахметзянов Ф.Ш., Анхимова Л.Е., Ахметзянова Р.Ф. — Частота местных рецидивов рака молочной железы pT (IS,1,2) N0-1M0 и их зависимость от различных видов лечения
Akhmetzyanov F., Ankhimova L., Akhmetzyanova R. — Local recurrence rates of breast cancer pT (IS,1,2) N0-1M0 and their dependence on different treatment modalities 178

Богомолова Ю.А., Милехина А.А., Короткевич Е.Н., Покровский Г.А. — Клинико-анамнестические особенности пациенток с полипами эндометрия и гиперплазией эндометрия
Bogomolova Yu., Milekhina A., Korotkevich E., Pokrovsky G. — Clinical and anamnestic features of patients with endometrial polyps and endometrial hyperplasia 184

Гаврыков Д.С., Капралов С.В., Полиданов М.А., Волков К.А., Ташухожаева Д.Т. — Экспериментальное обоснование способа оценки методики выполнения операции аллопластики брюшной стенки
Gavrukov D., Kapralov S., Polidanov M., Volkov K., Tashukhozhaeva D. — Experimental substantiation of the method of evaluation of the technique of abdominal wall alloplasty operation performance 188

Евлахова И.С., Кивва А.Н., Чубовский А.И., Загреба И.В. — Оптимизация тактики хирургического лечения пациентов с сочетанной травмой органов брюшной полости и забрюшинного пространства
Evlakhova I., Kivva A., Chubovskiy A., Zagreba I. — Optimization of surgical treatment tactics for patients with polytrauma of the abdominal organs and retroperitoneal space 193

Загорулько А.И., Нистратов Г.П., Голубцов А.К., Колединский А.Г., Рыков С.П., Мутасов А.Г., Волков Д.Г. — Методика одномоментного выполнения трахеостомии, эмболизации источника распадающейся опухоли плоскоклеточного рака и гастростомии. Клиническое наблюдение

Zagorulko A., Nistratov G., Golubcov A., Koledinskiy A., Rykov S., Mytasov A., Volkov D. — The technique of simultaneous tracheostomy, embolization of the source of a decaying tumor and gastrostomy. Clinical observation of the patient 198

Загорулько А.И., Голубцов А.К., Нистратов Г.П., Рыков С.П. — Постпроцедурные или поздние осложнения, возникающие при имплантации и использовании порт-систем
Zagorulko A., Golubcov A., Nistratov G., Rykov S. — Post-procedural or late complications arising from implantation and use of port systems 203

Йайа Латифату — Тяжёлая тропическая малярия: «современный взгляд»
Yaya Latifatou — Severe tropical malaria: «modern perspective» 210

Капралов С.В., Полиданов М.А., Петрунькин Р.П., Кашихин А.А., Волков К.А., Масляков В.В. — Экспериментальное обоснование моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных
Kapralov S., Polidanov M., Petrunkin R., Kashikhin A., Volkov K., Maslyakov V. — Experimental substantiation of modeling of mine and shrapnel directed trauma of soft tissues and pelvic organs in laboratory animals 215

Кацова Г.Б. — Информированность родителей об опухолевых заболеваниях у детей — один из факторов ранней диагностики и успешного лечения
Katsova G. — Parents awareness of tumor diseases in children is one of the factors of early diagnosis and successful treatment. 220

Крайнюков П.Е., Евтушенко А.А., Кокорин В.В., Гончаров Н.А. — Отдаленные последствия оперативного лечения хронического латерального эпикондилита: клиническое наблюдение
Krainukov P., Evtushenko A., Kokorin V., Goncharov N. — Long-term consequences of surgical treatment of chronic lateral epicondylitis: clinical observation . 225

Кротов Г.А., Данилов М.А., Князев О.В., Цвиркун В.В. — Особенности ведения пациентов с фульминантным колитом
Krotov G., Danilov M., Knyazev O., Tsvirkun V. — Management Features of Patients with Fulminant Colitis 230

Пелипенко Н.В., Барова Н.К., Стрюковский А.Е., Коломыцева Л.Н., Эйвазов З.С. — Актуальные вопросы реабилитации и диспансеризации детей с химическими ожогами пищевода
Pelipenko N., Barova N., Stryukovskye A., Kolomytseva L., Eyvazov Z. — Current issues of rehabilitation and medical examination of children with chemical burns the esophagus 237

Пономарев Д.С. — Последствия COVID-19 у пациентов страдающих ХСН
Ponomarev D. — Consequences of COVID-19 on patients suffering from CHF 242

Севастьянов А.В., Фищев С.Б., Ниорадзе М.Г., Орлов А.Е., Павлова С.Г., Орлова И.В., Шторина А.А., Филатова О.О. — Морфометрические изменения в процессе ортодонтического лечения пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией без уменьшения высоты гнатической части лица
Sevastyanov A., Fischev S., Nioradze M., Orlov A., Pavlova S., Orlova I., Shtorina A., Filatova O. — Morphometric changes in the process of orthodontic treatment of patients with deep incisive dysocclusion without reducing the height of the gnathic part of the face. 251

Ступин В.О., Трясучев А.В., Курьянова Е.В. — Оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы у пациентов с артериальной гипертензией по статистическим показателям вариабельности сердечного ритма
Stupin V., Tryasuchev A., Kuryanova E. — Assessment of the functional state of the cardiovascular system in patients with arterial hypertension according to statistical parameters of heart rate variability 256

Усеинова Р.Х., Белоглазов В.А., Яцков И.А., Репинская И.Н., Пентковская Д.А. — Липополисахарид-связывающий белок и артериальная гипертензия у пациентов с сахарным диабетом 1-го типа
Useinova R., Beloglazov V., Yatskov I., Repinskaya I., Pentkovskaya D. — Lipopolysaccharide-binding protein and arterial hypertension in patients with type 1 diabetes mellitus 260

Фищев С.Б., Севастьянов А.В., Климов А.Г., Рожкова М.Г., Павлова С.Г., Васильева Н.А., Березкина Т.Н., Пуздырева М.Н. — Электромиографическое исследование пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией
Fischev S., Sevastyanov A., Klimov A., Rozhkova M., Pavlova S., Vasilyeva N., Berezkina T., Puzdyreva M. — Electromyographic examination of patients with deep incisor dysocclusion. 266

Христофорова В.А., Меркушева Е.А., Юрьева С.В., Канева В.А., Седунова Е.М. — Программа «Отсроченного материнства» у пациентки с пост ковидными осложнениями сердечно-сосудистой системы (Клиническое наблюдение)
Khristoforova V., Merkusheva E., Yurieva S., Kaneva V., Sedunova E. — The «Deferred Motherhood» program in a patient with Post-COVID cardiovascular complications: A clinical case report. 271

Хузиахмедов А.Н., Халилов И.Г., Макаримов Э.Ш., Халилов И.И., Купцова Д.О. — Вакуум аспирационная венозная тромбэктомия из илиофеморального сегмента под УЗИ навигацией (клинический случай)
Khuziakhmedov A., Khalilov I., Makarimov E., Khalilov I., Kuptsova D. — Vacuum aspiration venous thrombectomy from the iliofemoral segment under ultrasound navigation (clinical case) 275

Царева А.А., Разин В.А. — Особенности пациентов с хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса с поздними потенциалами желудочков
Tsareva A., Razin V. — Features of patients with chronic heart failure with low ejection fraction and late ventricular potentials. 279

Наши авторы 283

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.18

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРБОНАТНЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ МЕЛИОРАНТА ДЛЯ РАСКИСЛЕНИЯ ПОЧВ

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING CARBONATE WASTE AS A RECLAMATION AGENTS FOR SOIL DECOXIDATION

O. Ivanchenkova
S. Lukashov
V. Gamazin
E. Nozdracheva

Summary. This paper presents the results of studies to substantiate the possibility of using carbonate waste from silicate production as a mineral fertilizer. It is shown that waste from the complex processing of chalk contains at least 80 % (in total) of calcium and magnesium carbonates and can be used as an ameliorant for liming acidic soils. A comprehensive assessment of the impact of the ameliorant on environmental objects was performed. The qualitative and quantitative composition, toxicity to living organisms, impact on atmospheric air, soil cover, surface and groundwater were studied. It was found that the content of impurities of lead, cadmium, arsenic, mercury, copper, manganese, molybdenum, and zinc in the studied ameliorant does not exceed the maximum permissible concentrations, therefore it is practically non-toxic to mammals, the hazard is not classified according to GOST 32423-2013. It is shown that the anthropogenic load when using the ameliorant will not exceed the normatively permissible values, and the content of toxic elements in the soil, water and atmospheric air will not exceed the corresponding standards of SanPiN 1.2.3685-21. The doses of application of the ameliorant for different types of soils are substantiated, measures for environmental protection when using the ameliorant are proposed.

Keywords: carbonate waste, chalk, ameliorant, limestone flour, liming, soil deoxidation, heavy metals.

Иванченкова Оксана Андреевна
Кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
ФГБОУ ВО Брянский государственный
инженерно-технологический университет
oa-iva79@mail.ru
Лукашов Сергей Викторович
Кандидат химических наук, доцент,
ФГБОУ ВО Брянский государственный университет
им. акад. И.Г. Петровского
sergelukashov@yandex.ru
Гамазин Виктор Петрович
Кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО Брянский государственный университет
им. акад. И.Г. Петровского
vgamazin@yandex.ru
Ноздрачева Елена Владимировна
Кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО Брянский государственный университет
им. акад. И.Г. Петровского
nozd-ev@mail.ru

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследований по обоснованию возможности использования карбонатных отходов силикатного производства в качестве минерального удобрения. Показано, что отходы производства комплексной переработки мела содержат не менее 80 % (суммарно) карбонатов кальция и магния и могут применяться в качестве мелиоранта для известкования кислых почв. Выполнена комплексная оценка воздействия мелиоранта на объекты окружающей среды. Исследован качественный и количественный состав, токсичность для живых организмов, воздействие на атмосферный воздух, почвенный покров, поверхностные и подземные воды. Установлено, что содержание примесей свинца, кадмия, мышьяка, ртути, меди, марганца, молибдена и цинка в исследуемом мелиоранте не превышает предельно допустимых концентраций, в связи с чем он практически не токсичен для млекопитающих, опасность не классифицируется согласно ГОСТ 32423-2013. Показано, что величина антропогенной нагрузки при использовании мелиоранта не будет превышать нормативно допустимые значения, а содержание токсичных элементов в почве, воде и атмосферном воздухе не превысит соответствующие нормативы СанПиН 1.2.3685-21. Обоснованы дозы внесения мелиоранта для различных типов почв, предложены мероприятия по охране окружающей среды при использовании мелиоранта.

Ключевые слова: карбонатные отходы, мел, мелиорант, мука известняковая, известкование, раскисление почв, тяжелые металлы.

Введение

Проблема рационального использования природных ресурсов остается актуальной на всех этапах природопользования. При этом эффективность использования меняется в зависимости от уровня развития человека и удовлетворения его потребностей, а также от оборудования для добычи и переработки этих ресурсов. Переработку карбонатных пород в Центральном и Поволжском регионах России можно вести круглый год. Однако требования, предъявляемые к качеству продукции из данного сырья, ограничивают разработку и освоение месторождений. Например, щебень менее марки 300, получаемый из горной породы, снижает перспективность месторождений. Метод избирательного дробления, превалировавший в последние годы при переработке неравнопрочных пород на щебень, привел к созданию большого количества отсевов дробления, направляемых чаще всего в отвалы [1].

При добыче и переработке карбонатного сырья в отходы (мелкая фракция при дроблении и обрезки камнепиления) уходит от 10 до 50 % добываемого сырья, что значительно снижает технико-экономические показатели перерабатывающих предприятий. Кроме того, предприятия сталкиваются и с экологическими проблемами, так как при складировании этих отходов занимаются значительные площади земель, увеличивается пылевая нагрузка на окружающую среду, происходит размыв отвалов и т.д. [2].

С другой стороны, необходимо отметить до сих пор существующую проблему известкования почв. Несмотря на большие объемы внесения извести в прошедшие десятилетия, значительная часть пахотных угодий имеет кислую от природы реакцию. За счет применения минеральных удобрений, вымывания оснований из верхнего слоя почвы осадками, появляются новые площади пашни с почвами, остро нуждающимися в известковании. К сожалению, площади известкования почв в России за последние годы сократились в 10–20 раз [3].

В Брянской области в процессе переработки карбонатных пород образуются отходы, содержащие карбонаты кальция и магния, такие как [4]: известняк, доломит и мел в кусковой форме практически неопасные; отсев известковых, доломитовых, меловых частиц с размером частиц не более 5 мм практически неопасный; известняк, доломит и мел в виде порошка и пыли малоопасные; щебень известняковый, доломитовый некондиционный практически неопасный. В то же время производство известковых удобрений из отходов карбонатного производства, например, для раскисления почв, не нашло широкого применения в сельском хозяйстве указанного региона.

Цель исследования

Цель настоящей работы заключалась в обосновании возможности использования карбонатных отходов силикатного производства в качестве минерального удобрения для раскисления почв.

Материал и методы исследования

В качестве объекта исследования были выбраны карбонатные отходы силикатного производства, после измельчения которых образуется фракции 1 и 2 классов, состав которых представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Качественный и количественный состав фракций карбонатных отходов

Наименование показателя	1-й класс	2-й класс
Суммарная массовая доля карбонатов кальция и магния, %, не менее	80	80
Массовая доля влаги, %	1,5–6,0	
Гранулометрический состав, полные остатки на ситах, %, не более:		
— 5 мм	отсутствие	отсутствие
— 3 мм	3	3
— 1 мм	25	15
Показатель АДВ, %	74–78	71–74

На основании данных, представленных в таблице 1 можно сделать вывод, что получившийся продукт по составу близок к известняковой муке и может быть использован в качестве мелиоранта для раскисления почв, т.к. содержание карбонатов кальция и магния в нем достигает не менее 80 %.

Суммарную массовую долю карбонатов магния и кальция, массовую долю влаги, гранулометрический состав, показатель активнодействующих веществ в карбонатных отходах определяли в соответствии с ГОСТ 14050-93. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов проводили по ГОСТ 30108-94. Измерение массовой доли ртути в образцах почв и почвогрунтов выполняли по методике ПНД Ф 16.1:2.23-2000. Количественное определение полициклических ароматических углеводородов проводили по методике 16.1:2.2:2.3:3.62-09. Концентрацию тяжелых металлов определяли в соответствии с ПНДФ 16.1:2.2:3.17 98, ПНДФ 16.1:2.2:2.3.36-2002. Показатели острой токсичности для водных организмов выполняли в соответствии с ГОСТ Р 57455–2017. Экотоксикологические характеристики для млекопитающих определяли в соответствии с ГОСТ 32644–2014.

Величины максимально разовых концентраций выбросов загрязняющих веществ определяли с применением программ расчета загрязнения атмосферного воздуха (УПРЗА), реализующих положения Приказа МПР РФ от 06.06.2017 № 273, по данным о параметрах источников выбросов установки и данным о характеристиках рассеивания загрязняющих веществ в воздушном бассейне.

Сравнительную оценку полученных данных и нормируемых показателей по загрязняющим веществам выполняли в соответствии с СанПиНом 1.2.3685–21.

Обработку полученных результатов выполняли с использованием Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

По степени воздействия на организм человека, теплокровных животных и птиц в соответствии с [5], исследуемый объект относится к 3 классу опасности (умеренно опасный продукт), в составе которого токсичные компоненты и примеси сверх допустимых значений не содержатся.

Токсичность для теплокровных составляет: LD50 — 6450 мг/кг, в/ж, крысы; LD50>2500 мг/кг, н/к, кролики; LC50>3000 мг/м^3, инг., крысы. Объект оказывает раздражающее действие на верхние дыхательные пути, глаза, кожу. Однако, следует отметить, что он практически не токсичен для млекопитающих, согласно [6] опасность не классифицируется. Риск его применения для наземных позвоночных оценивается как низкий. Использование исследуемых отходов в сельскохозяйственном производстве и личных подсобных хозяйствах не будет оказывать негативного воздействия на животный мир.

Допустимая антропогенная нагрузка исследуемого объекта на почвенный покров Российской Федерации рассчитана из дозы применения в 7000 кг/га (1 раз в 5 лет) и представлена на рисунке 1.

Можно сделать вывод, что при соблюдении регламента применения, величина антропогенной нагрузки не будет превышать нормативно допустимые значения, а содержание токсичных элементов в почве не превысит соответствующие гигиенические нормативы [5]. Загрязнение почвенного покрова — исключено.

Рассчитаем миграцию карбонатов кальция и магния в пересчете на оксиды по горизонту почвы с учетом эллювиально-аккумулятивного коэффициента по А.А. Роде [7,8]. Масса растворенного карбоната кальция в пересчете на оксид кальция составит (1/100))×56=0,56 г (где 1 г — масса карбоната кальция переходящая в раствор при максимальной норме внесения агрохимиката, 100 г/моль и 56 г/моль – молярные массы карбоната кальция и его оксида соответственно). Аналогично масса растворенного карбоната магния в пересчете на оксид магния составит (53,34/84)×40 = 25,4 г). Полученные данные представлены в таблице 2.

	Свинец	Кадмий	Мышьяк	Ртуть	Медь	Марганец	Цинк
Фактическая (максимальная)	0,025	0,0013	0,0014	0,000062	0,023	1,34	0,17
Нормативно допустимая	1,25	0,013	0,285	0,013	3	11	8,5

Рис. 1. Воздействие токсичных компонентов отходов силикатного производства на почвенный покров

Таблица 2.

Данные распределения содержания карбонатов кальция и магния (в пересчете на оксиды) по горизонту почвы.

Горизонт и глубина взятия пробы, см	Arx (CaO)*	Arx (MgO)*	m (CaO)** выносимая из горизонта от растворенной, г	m (MgO)** выносимая из горизонта от растворенной, г
Для глинистых и торфяно-болотных почв				
0–10	0,21	0,48	0,12	12,19
10–43	0,31	0,55	0,04	6,70
72–120	1,16	1,05	0,04	6,70
>120	1,00	1,00	0,04	6,70
Для песчаных и супесчаных почв				
0–10	0,51	0,67	0,29	17,01
10–43	0,71	0,71	0,21	12,08
72–120	1,18	1,11	0,21	12,08
>120	1,00	1,00	0,21	12,08

*Arx (CaO) и Arx (MgO) — эллювиально-аккумулятивные коэффициенты оксидов кальция и магния по А.А. Роде для глинистых почв;
**m (CaO) и m (MgO) массы оксидов кальция и магния, выносимые из горизонта, вычисленные с учетом Arx.

Исходя из данных представленных в таблице 2, можно показать, что при средней площади зеркала малого водоема 18 га и глубине 3 метра привнесенная концентрация составит:

а) для глинистых и торфяно-болотных почв по кальцию $7{,}4\times10^{-11}$ г/л и по магнию $1{,}2\times10^{-8}$ г/л, что на несколько порядков меньше фонового содержания данных веществ в природных водах.

б) для песчаных и супесчаных почв по кальцию $3{,}8\times10^{-10}$ г/л и по магнию $2{,}2\times10^{-8}$ г/л, что на несколько порядков меньше фонового содержания данных веществ в природных водах.

Аналогично, можно показать, что при мощности слоя подземных вод 20 м, привнесенная концентрация составит на 1 га пахотных почв:

а) для глинистых и торфяно-болотных почв составит по кальцию 2×10^{-10} г/л и по магнию $3{,}3\times10^{-8}$ г/л, что также на несколько порядков меньше фонового содержания данных веществ в подземных водах.

б) для глинистых и торфяно-болотных почв составит по кальцию 1×10^{-9} г/л и по магнию 6×10^{-8} г/л, что также на несколько порядков меньше фонового содержания данных веществ в подземных водах.

Таким образом, концентрация кальция и магния в поверхностных и подземных водах может увеличиться только за счет смыва почв. Оценим этот процесс количественно.

При среднегодовом смыве почвы (4 т/га) в стандартный водоем (300000 л, комплекс модель Focus, Step2), максимально прогнозируемая концентрация кальция и магния в воде не превысит 38,7 мг/л, что ниже нормативных значений ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения (ПДКр.х.(Ca) — 180 мг/л; ПДКр.х.(Mg) — 40 мг/л). ПДК кальция в водных объектах хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования — не нормируется, ПДК магния — 50 мг/л.

С учетом изложенных выше данных, исследуемый объект не следует применять в случае повышенного содержания в поверхностных и подземных водах кальция более 146 мг/л, магния более 35 мг/л.

На основании выше сказанного, можно сделать вывод, что концентрации кальция и магния не будут возрастать в поверхностных и подземных водах.

Однако, при применении исследуемых отходов силикатного производства в качестве агрохимиката в районах с повышенным содержанием кальция и магния в подземных водах, для исключения возможности возрастания их концентрации, следует выполнять ряд мероприятий:

а) контролировать содержание кальция и магния в природных и поверхностных водах;

б) вносить агрохимикат после снеготаяния, для уменьшения смыва с почвой в поверхностные водоемы;

в) при критических концентрациях кальция и магния в поверхностных и подземных водах, более 146 мг/л по кальцию и 35 мг/л по магнию следует отказаться от применения агрохимиката.

Исследуемый объект является веществом природного происхождения, основным компонентом которого является известняк, состоящий из карбоната кальция и карбоната магния, показатели токсичности для которых приведены в таблице 3.

По степени воздействия на водные организмы в соответствии с [6], исследуемый объект не классифицируется как опасная химическая продукция.

Карбонаты кальция и магния относятся к практически нерастворимым в воде соединениям (ПР $CaCO_3$ — 14 мг в 100 г воды при 25°С; ПР $MgCO_3$ — 22 мг в 100 г воды при 25°С) и при попадании в водный объект не образуют опасных метаболитов.

Таблица 3.

Показатели острой токсичности карбонатов для водных организмов

Компонент	Рыбы	Беспозвоночные	Водоросли
Карбонат кальция	LC50(96 ч) — 5600 мг/л** Gambusia afflnis	LC50 (48 ч) — 3000–7000 мг/л** Daphnia magna	ErC50 (72 ч) >42 мг/кг***
Карбонат магния	LC50 (96 ч) — 1875 мг/л* Pimeohales promelas	LCS0(48 ч) — 1176 мг/л* Daphnia magna	NOEC (72 ч) — 65 мг/л*

Знаком * отмечены данные с сайта Европейского химического агентства.
Знаком ** отмечены данные из информационной карты РПОХБВ (серия АТ №001484 от 17.12.1998).
Знаком *** отмечены данные с сайта PPDB: Pesticide Properties Data Base

При строгом соблюдении норм технологического регламента применение объекта исследования в качестве агрохимиката сопряжено с низким риском для всех групп водных организмов.

Нами выполнена гигиеническая оценка исследуемых отходов силикатного производства. Установлено, что содержание токсичных и опасных веществ, таких как тяжёлые металлы, в том числе подвижные их формы и мышьяк, соответствует нормативным требованиям, установленным для почв сельскохозяйственного назначения (группа «а» — песчаные и супесчаные почвы) в соответствии с [5] (таблица 4).

Удельная активность природных радионуклидов в агрохимикате не превышает 1000 Бк/кг, что соответствует требованиям п.5.3.6. СанПиН 2.6.1.2523-09 (НРБ-99/2009). Эффективная удельная активность природных радионуклидов в агрохимикате не превышает 740 Бк/кг, что в соответствии с требованиями п. 5.2.5 ОСПОРБ-99/2010 и п. 5.3 СанПиН 2.6.1.2800-10 позволяет применять мелиорант без ограничений (1 класс радиационной опасности).

Удельная активность техногенных радионуклидов (Cs и Sr): ACs/45 +ASr/30 <1 отн. ед. Содержание стабильного стронция в мелиоранте составляет 1306,0 мг/кг. Согласно технической документации, соотношение кальция и стабильного стронция в агрохимикате, составляет более 10:1.

При данном соотношении Ca:Sr можно считать безопасным применение агрохимиката для известкования кислых почв.

Таблица 4.

Содержание токсичных и опасных веществ в отходах силикатного производства

Наименование показателей	Агрохимикат
Свинец, мг/кг	3,5
Кадмий, мг/кг	0,18
Ртуть, мг/кг	0,0061
Мышьяк, мг/кг	0,204
Эффективная удельная активность природных радионуклидов ($А_{эфф.}$), Бк/кг, не более	16,3
Калий-40, Бк/кг	40,0
Радий-226, Бк/кг	10,1
Торий-232, Бк/кг	<2
Удельная активность техногенных радионуклидов, отн. ед.	<1
Цезий-137, Бк/кг	4,9
Стронций-90, Бк/кг	<0,5

Также было исследовано воздействие отходов силикатного производства на атмосферный воздух. Исследуемый объект представляет собой сыпучий порошок, не летуч (константа Генри (Кц) менее 0,0001), при процессах пересыпки и разбрасывания механизированным способом будет происходить выделение следующих загрязняющих веществ: карбонат кальция (3119); ИЗАВ 6001; азота диоксид (0301), азота диоксид (0304), сажа (0328), серы диоксид (0330), углерода оксид (0337) и керосин (2732), карбонат кальция (3119). ИЗАВ 6002.

Таблица 5.

Концентрации загрязняющих веществ

Код	Наименование	МАХ	Граница СЗЗ	Жилая зона
301	Азота диоксид (Азот (IV) оксид)	0,032	0,033	0,027
304	Азот (II) оксид (Азота оксид)	0,002	0,002	0,002
328	Углерод (Сажа)	0,013	0,012	0,008
330	Сера диоксид (Ангидрид сернистый)	0,001	0,001	0,001
337	Углерод оксид	0,001	0,001	0,0001
2732	Керосин	0,0013	0,0013	0,0011
3119	Карбонат кальция	0,313	0,293	0,200
6204	Группа суммации	0,021	0,021	0,018

Таблица 6.

Регламент применения карбонатных отходов силикатного производства в качестве агрохимиката

Наименование	Культура	Доза применения	Время, особенности применения
Мука известняковая	Все культуры	В зависимости от вида культуры, технологии ее выращивания, планируемого урожая, показателей кислотности и механического состава почвы. Максимальная разовая доза внесения агрохимиката: на песчаных и супесчаных почвах — не более 5,0 т/га, на глинистых и торфяно-болотных — не более 7,0 т/га	Известкование кислых почв. Рекомендуемая периодичность внесения 1 раз в 5 лет

Расчеты рассеивания по всем загрязняющим веществам показали допустимые концентрации по точкам максимальной концентрации (МАХ) на границе СЗЗ (Гран. СЗЗ) и на границе с жилой зоной (ЖЗ), значение которых приведены в таблице 5.

Расчетные приземные максимальные концентрации не превышают ПДК по всем рассматриваемым веществам и группам суммации.

Воздействие на атмосферный воздух не приведет к превышению санитарно-гигиенических нормативов за пределами санитарно-защитной зоны объекта.

На основании приведенных выше данных нами предлагается следующий регламент использования карбонатных отходов силикатного производства в качестве агрохимиката (таблица 6).

Выводы

На основе анализа литературных данных, была обоснована возможность применения карбонатных отходов силикатного производства в качестве мелиоранта для раскисления почв.

Выполнена оценка воздействия карбонатных отходов силикатного производства на объекты окружающей среды при применении их в качестве агрохимиката.

Показано, что исследуемый объект не оказывает негативного воздействия на живые организмы, атмосферный воздух, почвенный покров и водные ресурсы при соблюдении предлагаемых регламентов его использования в качестве агрохимиката.

Исследуемые карбонатные отходы силикатного производства могут применяться в качестве агрохимиката, как мелиорант для раскисления почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубов В.А., Журавлев А.А., Князев А.С., Копылов Д.Ю. Природосберегающие технологии производства строительных материалов // Строительные материалы. №2. 2013. С. 81–83.
2. Талпа Б.В., Семенов Г.А. // Изв. вузов. Сев.-Кавк. Регион. Естеств. науки. 2005. № 1. С. 53–62.
3. Исупов А.Н., Башков А.С., Белослудцев Д.В. Эффективность использования сыромолотой извести на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве удмуртской республики // Пермский аграрный вестник. №4 (24). 2018. С. 52–57.
4. Цублова Е.Г., Лукашов С.В. Природные ресурсы и окружающая среда Брянской области годовой доклад об экологической ситуации в брянской области в 2020 г. Брянск. Аверс. 2021. 249 с.
5. СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»
6. ГОСТ 32424–2013 «Классификация опасности химической продукции по воздействию на окружающую среду»
7. Шерстнев А.К. Валовой химический состав черноземов обыкновенных залежных участков северного Приазовья // [Электронный ресурс]. URL: http://interagro.e.donstu.ru/documents/articles_1/310-312.pdf (дата обращения: 29.04.2021 г.)
8. Роде А.А., Смирнов В.Н. Почвоведение. Изд. 2-е, испр, и доп. Учебник для студентов лесохозяйственных факультетов вузов. М., «Высшая школа», 1972 г. 480 с.

© Иванченкова Оксана Андреевна (oa-iva79@mail.ru); Лукашов Сергей Викторович (sergelukashov@yandex.ru);
Гамазин Виктор Петрович (vgamazin@yandex.ru); Ноздрачева Елена Владимировна (nozd-ev@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.26

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЖИМА РЕК ДАГЕСТАНА НА БИОРАЗНООБРАЗИЕ ПРИБРЕЖНЫХ ЭКОСИСТЕМ

THE IMPACT OF CHANGES IN THE REGIME OF DAGESTAN'S RIVERS ON THE BIODIVERSITY OF COASTAL ECOSYSTEMS

A. Magomedov
P. Omarova
O. Garunov
M. Gadzhieva
Z. Gasbanova

Summary. The article examines the impact of hydraulic structures on river ecosystems, including changes in the water regime and degradation of coastal areas. The reduction of spawning and feeding areas, the decrease in the number of commercial fish species and the destabilization of the hydrological cycle are emphasized. Special attention is paid to the problems of eutrophication and pollution of rivers because of irrigation and agricultural runoff. There is a threat to biodiversity associated with deforestation of coastal vegetation and changes in the species composition of flora and fauna. Measures to restore ecosystems have been proposed, including the introduction of «ecological releases», stricter environmental controls and increased environmental literacy of the population. The need to coordinate the efforts of government agencies and local communities is highlighted. The study substantiates the importance of an integrated approach to minimize the negative impact of hydraulic engineering facilities.

Keywords: hydraulic structures, rivers, ecosystems, biodiversity, eutrophication, environmental control, coastal zones.

Магомедов Абдурахман Маллаевич
доктор биологических наук, профессор, Дагестанский государственный медицинский университет
Abdurahman57@mail.ru
Омарова Патимат Абдуллаевна
кандидат биологических наук, доцент, Дагестанский государственный медицинский университет
Patimattt.omarovna2015@gmail.com
Гарунов Омари Магомедович
Дагестанский государственный медицинский университет
Garunovo@bk.ru
Гаджиева Мадинат Ахмедовна
Дагестанский государственный медицинский университет
Snafu.m@mail.ru
Гасбанова Зарема Исламовна
Дагестанский государственный медицинский университет
Zarema.gasbanova@icloud.com

Аннотация. В статье рассматривается воздействие гидротехнических сооружений на экосистемы рек, включая изменение водного режима и деградацию прибрежных территорий. Подчеркивается сокращение нерестовых и кормовых площадей, снижение численности промысловых видов рыб и дестабилизация гидрологического цикла. Особое внимание уделено проблемам эвтрофирования и загрязнения рек в результате ирригации и сельскохозяйственных стоков. Отмечается угроза биоразнообразию, связанная с вырубкой прибрежной растительности и изменением видового состава флоры и фауны. Предложены меры по восстановлению экосистем, включая введение «экологических попусков», ужесточение экологического контроля и повышение экологической грамотности населения. Выделяется необходимость координации усилий государственных органов и местных сообществ. Исследование обосновывает значимость комплексного подхода для минимизации негативного влияния гидротехнических объектов.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, реки, экосистемы, биоразнообразие, эвтрофирование, экологический контроль, прибрежные зоны.

В последние годы особенно заметно воздействие гидротехнических сооружений на структуру рек и прилегающих территорий: строительство плотин, водохранилищ, каналов и других объектов меняет естественный характер стока и приводит к сокращению или трансформации участков, ранее выполнявших роль нерестилищ и кормовых площадей для ряда видов. Так, по данным региональных экологических организаций, в период с 2010 по 2020 годы протяжённость участков пойменных экосистем вдоль крупных рек (Кума, Сулак, Самур и др.) сократилась примерно на 12–15 %, что стало результатом целенаправленного регулирования стока и распространения ирригационных систем. Одновременно отмечено снижение численности некоторых видов рыб (к примеру, шип и кутум) в среднем на 10–12 % от прежних показателей.

Одним из ключевых последствий изменения водного режима рек служит дестабилизация гидрологического цикла прибрежных зон. Прежде всего, это отражает-

ся на колебаниях уровня воды в периоды половодья и межени, которые играют важную роль в размножении многих биологических видов. Если раньше весенние паводки гарантировали поступление органического материала и питательных веществ на прибрежные территории, то теперь из-за регулирования стока многие участки либо вовсе не затапливаются, либо остаются под водой избыточно долгий срок, нарушая естественный цикл роста растений и миграции беспозвоночных. Сокращение традиционных циклов затопления ведёт к упрощению структуры экосистемы: ряд травянистых растений, ранее приспособленных к регулярному поступлению богатой органикой воды, начинает вытесняться культурами, устойчивыми к изменённому режиму увлажнения. Наблюдения ботаников фиксируют снижение видового разнообразия пойменных лугов на 8–10 % за последние два десятилетия, что негативно отражается на кормовой базе для животных, обитающих в прибрежной зоне [1, с. 58].

Одновременно с этим возникает проблема эвтрофирования прибрежных акваторий, когда из-за увеличения антропогенных стоков и неравномерного водообмена в реках накапливается избыточное количество питательных веществ. В результате происходит чрезмерное разрастание водорослей и гибель части чувствительных к дефициту кислорода гидробионтов. Исследования ихтиологов в низовьях реки Сулак показывают, что из-за обильного цветения фитопланктона в летний период падает концентрация растворённого кислорода до 5–6 мг/л, тогда как раньше она достигала 8–9 мг/л. При таких условиях более уязвимыми становятся ценные промысловые виды рыб, не способные адаптироваться к резким колебаниям качества воды. Подобная тенденция ведёт к сдвигу видовой структуры ихтиофауны в сторону более простых и неприхотливых рыб, таких как гибридные формы карася или мелкие карповые, которые легко приспосабливаются к новым условиям. Такая замена видового состава снижает устойчивость водных экосистем и в перспективе может сказаться на экономической ситуации в регионе, поскольку промысловое значение некоторых исчезающих видов рыб достаточно высоко [2].

Гидротехнические сооружения, среди которых наиболее масштабные — это Чиркейская и Чирюртская ГЭС на реке Сулак, существенно повлияли на скорость течения, глубину русла и температуру воды. Исследователи указывают, что среднегодовой расход воды в нижнем течении Сулака сократился примерно на 18 %, а динамика сезонных изменений стала более сглаженной. При этом естественный паводок, ранее происходивший ежегодно примерно в апреле-мае, теперь сместился на более поздние сроки и не всегда достигает прежних максимальных отметок. Подобные колебания приводят к нарушениям миграционных путей рыб: многие виды ориентируются на температуру и уровень воды, и если паводок не наступает вовремя, то нерест откладывается или вовсе протекает в неблагоприятных условиях. Это отражается не только на видах рыб, но и на водоплавающих птицах, для которых прибрежные зоны являются важными местами гнездования и сезонной остановки при перелётах. Учёные отмечают, что численность некоторых популяций уток (например, чернети) снизилась на 7–8 % в результате изменения структуры водных объектов и сокращения кормовой базы вдоль береговой линии.

Серьёзное влияние на биоразнообразие прибрежных экосистем оказывают ирригационные системы, которые не только забирают значительные объёмы воды из рек, но и нередко становятся источником загрязнения. Рост сельскохозяйственного производства, особенно в низовьях рек, привёл к увеличению применения химических удобрений и пестицидов, которые через каналы и дренажные системы попадают в русло. В результате наблюдаются локальные вспышки загрязнений, ведущие к гибели некоторых беспозвоночных, являющихся важным звеном пищевой цепи. Подсчёты специалистов, проводивших исследования в районе дельты реки Самур, свидетельствуют, что в периоды повышенного использования удобрений (примерно с апреля по июнь) концентрация нитратов в воде может превышать 20 мг/л, хотя ранее этот показатель не поднимался выше 12–15 мг/л. Такие изменения ухудшают условия для развития личинок насекомых, которые служат кормом для рыб и птиц, тем самым сужая биоразнообразие в прибрежной зоне [3].

Дополнительно следует учитывать и то, что Дагестан характеризуется высокой сейсмической активностью, и любое значительное гидротехническое сооружение сопряжено с рисками, связанными с безопасностью населения и сохранением природных ландшафтов. Если вследствие землетрясения или оползней плотины утрачивают свою целостность, это может привести к внезапным сбросам больших объёмов воды, разрушающим прибрежные экосистемы. Такой катастрофический сценарий потенциально способен стереть с лица земли целые сообщества растений и животных, формировавшиеся на протяжении веков. Опасения учёных оправдываются: согласно отчётам сейсмологов, ежегодно в регионе фиксируется до 200–250 толчков различной силы, и риск повреждения гидротехнических сооружений повышается, особенно в горных районах.

Важнейшим компонентом водных экосистем остаётся лесная и кустарниковая растительность, произрастающая по берегам рек. Эти зелёные зоны обеспечивают стабилизацию береговых склонов и фильтрацию сточных вод, а также служат местом обитания многих видов птиц и млекопитающих. Наблюдения показывают, что

в местах активного руслового регулирования процент лесистости может снижаться на 5–7 % за десять лет, потому что прибрежные насаждения вытесняются в результате подъёма грунтовых вод или, наоборот, иссушения отдельных участков. Это особенно заметно на побережье реки Кума, где в последние годы прибрежно-водная растительность претерпевает серьёзные изменения — например, ива и тополь, привыкшие к регулярным затоплениям, перестают получать нужное количество влаги при весенних паводках и постепенно уступают место засухоустойчивым кустарникам. Утрата этих древесных и кустарниковых форм сокращает гнездовые возможности для птиц, формируя цепочку негативных последствий для всей экосистемы [4].

В исследованиях по оценке биоразнообразия прибрежных систем в Дагестане учёные всё чаще указывают на то, что изменение водного режима сказывается не только на самих водных объектах, но и на смежных территориях, вплоть до горных отрогов. Горные ручьи, питающие крупные реки, подвержены сезонным колебаниям осадков и таянию снегов, однако при глобальных изменениях (например, связанных со строительством водохранилищ) система водообмена нарушается и горные экосистемы начинают испытывать дефицит влаги в летний период. Это отражается на распространении горной флоры и фауны, особенно чувствительны к такому дисбалансу эндемичные для Дагестана виды растений. Сокращение традиционных источников влаги приводит к деградации горных пастбищ и исчезновению ряда видов, связанных со специфическими микроклиматическими условиями.

Процессы разрушения прибрежных экосистем в условиях трансформированного водного режима часто протекают незаметно, поскольку растягиваются во времени. Но в перспективе последствия оказываются масштабными и затрагивают не только природу, но и социально-экономическую сферу региона. Потеря кормовых и нерестовых площадей рыб влечёт снижение уловов: по данным местных рыболовецких хозяйств, промысловые уловы в некоторых участках дельт рек за последние 10–15 лет сократились на 20–25 %. Сокращение рыбных ресурсов порождает проблемы для многих семей, для которых рыболовство является традиционным источником доходов. К тому же утрата гидробионтов влияет на ценность рекреационных ресурсов: снижение прозрачности воды и исчезновение привлекательных природных ландшафтов негативно сказывается на развитии экотуризма, обладающего значительным потенциалом в горах и приморской зоне Дагестана [5].

При всём этом строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений, безусловно, приносят экономические выгоды в виде выработки электроэнергии, регулирования паводков и обеспечения орошения сельскохозяйственных земель. Однако без учёта экологических факторов эти проекты способны спровоцировать невосполнимые утраты в биоразнообразии. В целом, учёные призывают к разработке и внедрению более гибких систем регулирования водных потоков, которые учитывали бы биологические особенности ключевых видов флоры и фауны. Предлагается, в частности, введение «экологических попусков» — контролируемых сбросов воды в определённые сезоны, чтобы воспроизводить естественную сезонную динамику стока и сохранять нерестилища, а также обеспечить подтопление пойменных лугов. Подобная практика уже применяется в ряде стран и демонстрирует положительные результаты по восстановлению прибрежных экосистем.

Для более детального контроля за ситуацией необходим регулярный мониторинг качества воды и состояния прибрежных сообществ. Научно-исследовательские институты и профильные организации могут играть ключевую роль, осуществляя полевые исследования и фиксируя изменения структуры биоценозов. Так, в 2021 году был запущен пилотный проект по наблюдению за биоразнообразием в бассейне реки Самур, предусматривающий установку автоматизированных станций контроля качества воды и учёт численности птиц. Предварительные данные указывают на то, что при поддержании стабилизированного уровня воды в нерестовый период возможно частичное восстановление численности кутума, если также будут ограничены несанкционированные способы лова рыбы. Ключевой момент — это взаимная согласованность усилий различных ведомств: Министерство природных ресурсов, рыбохозяйственные структуры, органы местного самоуправления, а также местные жители должны координировать свои действия, чтобы не допустить критического ухудшения состояния экосистем [6].

В области государственной политики предлагается ужесточение норм экологического контроля при строительстве новых гидротехнических объектов и проведении ремонтных работ на существующих плотинах и каналах. Кроме того, важно внедрение технологий водосбережения и более рационального управления сельскохозяйственными стоками: современные методы капельного орошения позволяют уменьшить потребление воды, снизить объёмы химических удобрений и тем самым сократить загрязнение водных систем. Также целесообразно развитие системы охраняемых природных территорий, включая создание заказников вдоль наиболее уязвимых участков рек и побережий. По опыту других российских регионов установление статусных зон (заказник или особо охраняемая природная территория) способно значительно повысить уровень сохранности ключевых биотопов, поскольку туда привлекаются инвестиции для сохранения природы, проводится просветительская деятельность, а хозяйственная деятельность человека жёстко регламентируется.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барышников Н.Б., Соболев М.В., Поташко Е.А., Скоморохова, Е.М., Соколова, Е.С. Влияние гидротехнических сооружений на русловые и пойменные процессы / Н.Б. Барышников и др. // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. — 2017. — № 22. — С. 58–68.
2. Биоразнообразие и устойчивое развитие экосистем Дагестана / [Электронный ресурс]. — URL: https://infourok.ru/bioraznoobrazie-i-ustojchivoe-razvitie-ekosistem-dagestana-7379165.html (дата обращения: 02.01.2025).
3. Влияние изменения климата на биоразнообразие: модели будущих сценариев и стратегии адаптации / [Электронный ресурс]. — URL: https://znanio.ru/media/vliyanie-izmeneniya-klimata-na-bioraznoobrazie-modeli-buduschih-stsenariev-i-strategii-adaptatsii-2941199 (дата обращения: 02.01.2025).
4. Геоэкологические проблемы строительства и технической эксплуатации воднотранспортных гидротехнических сооружений / [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. — URL: https://cyberleninka.ru/article/n/geoekologicheskie-problemy-stroitelstva-i-tehnicheskoy-ekspluatatsii-vodno-transportnyh-gidrotehnicheskih-sooruzheniy (дата обращения: 02.01.2025).
5. Гидрологический режим водоемов и его изменения / [Электронный ресурс] // Геоизыскания. — URL: https://www.geoiziskaniya.com/article/gidrologicheskiy-rezhim-vodoemov-i-ego-izmeneniya (дата обращения: 02.01.2025).
6. Оценка изменений гидрологического режима трансграничной реки Туманная // Естественные науки. — URL: https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38143 (дата обращения: 02.01.2025).

© Магомедов Абдурахман Маллаевич (Abdurahman57@mail.ru); Омарова Патимат Абдуллаевна (Patimattt.omarovna2015@gmail.com);
Гарунов Омари Магомедович (Garunovo@bk.ru); Гаджиева Мадинат Ахмедовна (Snafu.m@mail.ru);
Гасбанова Зарема Исламовна (Zarema.gasbanova@icloud.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.28

СОХРАНЕНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА РОГУЛЬКОВОЕ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ ОСОБО ОХРАНЯЕМОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

CONSERVATION OF THE ECOSYSTEM OF LAKE ROGULKOVOE BY CREATING A SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREA

E. Mlynar

I. Khovansky

V. Dmitrovich

Summary. The conservation of unique ecosystems has recently acquired particular importance considering increasing anthropogenic impact. Considering this, ongoing monitoring of existing ecosystems is carried out. In 2019, a comprehensive survey of Lake Rogulkovoe (Altai Territory) was carried out, during which the current state of the ecosystem (including the composition of flora and fauna) was assessed. The high biological significance of Lake Rogulkovoe, as well as the presence on the territory of rare species listed in the Red Book, showed the feasibility of creating a natural monument of regional significance in this territory.

Keywords: ecosystems, lake, flora, fauna, protected areas, protection, abundance.

Млынар Евгений Викторович
Кандидат биологических наук, ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный медицинский университет», г. Хабаровск
mlynar@bk.ru

Хованский Игорь Евгеньевич
Доктор биологических наук

Дмитрович Владимир Владимирович
член-корреспондент, Дальневосточная Народная Академия Наук, г. Хабаровск

Аннотация. Сохранение уникальных экосистем в последнее время приобрело особую значимость в свете увеличивающегося антропогенного воздействия. В свете этого проводится постоянный мониторинг существующих экосистем. В 2019 году было проведено комплексное обследование озера Рогульковое (Алтайский край), в ходе которого было оценено видовой современное состояние экосистемы (в том числе состав флоры и фауны). Высокая биологическая значимость озера Рогульковое, а также наличие на территории редких видов, занесенных в Красную книгу, показали целесообразность создания на данной территории памятника природы краевого значения.

Ключевые слова: экосистемы, озеро, флора, фауна, ООПТ, охрана, численность.

Озеро Рогульковое является уникальным природным объектом на севере Алтайского края. Здесь во многом сохранился первозданный состав растительного и животного мира, что определяет необходимость сохранения данной экосистемы и придания озеру особого статуса. В связи с этим в 2019 году было проведено комплексное экологическое обследование данной территории для присвоения статуса особо охраняемой природной территории (ООПТ) — памятника природы краевого значения.

Материал и методика

Сбор материала осуществлялся путем обработки и анализа архивных и литературных источников и проведения полевого обследования в летний период 2019 года. Обработка гидробиологических проб по зоопланктону и зообентосу осуществлялась общепринятыми методами с использованием определителей [1–3]. Описание прилегающей растительности вели по ярусам: древесный, подлесок, состоящий из кустарников, травяной покров. Методика полевых работ по изучению растений и животных включала фотофиксацию объектов исследований и стаций их обитания. Отмечались все визуальные встречи птиц. Возможное нахождение объектов растительного и животного мира на территории ООПТ устанавливалось также по опубликованным и опросным данным, а также материалам за прошлые годы [4–5].

Результаты комплексного обследования

С целью комплексной оценки экосистемы водоема, в процессе изучения флоры и фауны, было проведено фоновое гидробиологическое исследование. Для этого были отобраны и камерально обработаны пробы зоопланктона и зообентоса. В результате было установлено, что зоопланктон озера представлен личинками насекомых, ракообразными, инфузориями, коловратками, при значительном доминировании по массе личинок перистоусого комарика, или коретры, или хаоборуса *Chaoborus (C.) flavicans* (Meig), весовая доля которого в пробе составила более 80 %. Кроме того, в отобранной пробе присутствовали коловратки Rotatoria, в частности *Asplanchna* и *Polyartra*, а также ветвистоусые ракообразные Cladocera, в том числе *Bosmina* и *Daphnia*, а также Copepoda. Биомасса зоопланктона в пробе составила 4,0 г/м^3. Из донной фауны в бентосных пробах были от-

мечены только пиявки класса Hirudinea. Средняя биомасса зообентоса по трем пробам составила 3,2±0,8 г/м^2 (1,8–4,6 г/м^2).

Специфические эко условия озера оказывают влияние и на состав его водных и прибрежных растительных сообществ. В целом водно-прибрежное сообщество растений отличается высокой плотностью и биомассой, что обусловлено высоко гумусными почвами и достаточным их увлажнением в образовавшихся геоморфологических понижениях рельефа. Растения непосредственно на акватории озера также довольно многочисленны, произрастают практически везде, образуя редкие или плотные сплошные зарастания. Прибрежный и береговой фито комплекс характеризуется как плотными зарастаниями гидрогигрофитов, так и образующими плотные поселения древесно-кустарниковыми формами и разнотравьем. Для прибрежных мелководий озера и пойменной части побережья характерно практически полное доминирование осоки береговой *Carex riparia* Curtis, встречаются тростник южный *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., рогоз узколистный *Typha angustifolia* L., рогоз широколистный *T. latifolia* L., а также незначительно марь красная *Oxybasis rubra* (L.) S. Fuentes, Uotila & Borsch, полевица побегообразующая *Agrostis stolonifera* L. и другие растения.

Среди гидрофильных растительных объектов озерного фитоценоза основным является рогульник плавающий (водяной орех, чилим) *Trapa natans* L., по имени этого растения названо и само озеро Рогульковое (или Рогуличное). Вид внесен в Красную книгу Алтайского края [6] в статусе 2в — уязвимый вид. Общая численность популяции рогульника плавающего озера Рогульковое оценена нами величиной не менее 5000 экз., то есть данная популяция является крупнейшей в Алтайском крае. Это, несомненно, определяет необходимость установления природоохранного статуса и для озера Рогульковое.

Следующими многочисленными водными растениями озера Рогульковое являются стрелолист обыкновенный *Sagittaria sagittifolia* L. и ежеголовник мелкоплодный *Sparganium microcarpum* (K.G. Neumann) Raunk. У обоих видов наблюдалось цветение и образовывались плоды, в основном на акватории присутствовали групповые поселения, состоящие из нескольких растений.

В ходе выполнения экологического обследования акватории озера Рогульковое были сделаны находки еще одного краснокнижного водного растения — кувшинки чисто-белой *Nymphaea candida* J. Presl et C. Presl. Вид внесен в Красную книгу Алтайского края [6] в статусе 3б — редкий вид.

При обследовании озера Рогульковое было найдено три экземпляра кувшинки чисто-белой. Две были зрелыми, со цветками, и одно молодое растение без цветков. Несмотря на обследование практически всей акватории озера, больше особей кувшинки чисто-белой обнаружить не удалось. Тем не менее обнаруженная находка определяет необходимость сохранения пусть и небольшой популяции краснокнижного вида, и подтверждает важность установления природоохранного статуса для озера Рогульковое.

Крупные древесные формы растений на берегу озера Рогульковое были представлены ивой белой *Salix alba* L. и тополем белым *Populus alba* L.. В подлеске обнаружена в основном черемуха обыкновенная *Prunus padus* L., встречались также калина обыкновенная или красная *Viburnum opulus* L., яблоня ягодная или сибирская *Malus baccata* (L.) Borkh.

Мелкие кустарники включают молодую древесную поросль ивы и тополя, обнаружены также малина обыкновенная *Rubus idaeus* L., смородина золотистая *Ribes aureum* Pursch. Следует выделить находку представителя многолетних лиан — хмеля обыкновенного *Humulus lupulus* L., отмечавшегося во многих местах, часто в удивительных формах, создающих растительному сообществу красочный южный колорит. Травянистые растения в луговых понижениях представлены пыреем ползучим *Elytrigia repens* (L.) Desv. ex Nevski, щетинником зеленым или мышеем *Setaria viridis* (L.) P. Beauv.. Присутствуют мята полевая *Mentha arvensis* L., подорожник большой *Plantago major* L., щавель водяной *Rumex aquaticus* L., полынь обыкновенная *Artemisia vulgaris* L.

Выше в более сухих местах отмечены горец (спорыш) птичий *Polygonum aviculare* L., лопух паутинистый *Arctium tomentosum* Mill., борщевик сибирский *Heracleum sphondylium* subsp. *sibiricum* (L.) Simonk., лебеда отклоненная *Atriplex patens* (Litv.) Iljin. Обнаружены также ясколка даурская *Cerastium davuricum* Fisch. ex Spreng., горец развесистый *Persicaria lapathifolia* (L.) Delarbre, чистец болотный *Stachys palustris* L. В составе луговых фитоценозов можно также выделить такие травянистые растения, как вьюнок полевой *Convolvulus arvensis* L., бодяк обыкновенный *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., чертополох поникающий *Carduus nutans* L., горошек мышиный *Vicia cracca* L., амарант запрокинутый *Amaranthus retroflexus* L. Отмечены встречи чины луговой *Lathyrus pratensis* L., ежи сборной *Dactylis glomerata* L., мятлика лугового *Poa pratensis* L., подмаренника настоящего *Galium verum* L.

На территории, планируемой к созданию ООПТ, произрастает много видов лекарственных трав. Кроме уже указанных выше мяты, подорожника, спорыша, амаранта и др., необходимо обязательно отметить кровохлебку лекарственную *Sanguisorba officinalis* L., цикорий обыкновенный *Cichorium íntybus* L., алтей лекарственный *Althaea officinalis* L., обилие которых здесь весьма внушительно.

При проведении экологического обследования было отмечено не менее 45 видов растений, в том числе 2 вида, включенных в Красную книгу Алтайского края и 6 лекарственных видов, заслуживающих внимания и мониторинга.

Фауна обследуемой территории проектируемого памятника природы в целом характерна для равнинной лесостепной зоны, при этом доминируют виды животных, связанных с околоводными местообитаниями. Из общераспространенных видов млекопитающих встречаются обыкновенная белка (телеутка), заяц-беляк, заяц-русак; местами, придерживаясь кустарников, обычен азиатский бурундук. В районе водоемов селится ондатра. По опросным сведениям, возможны встречи обыкновенной лисицы, волка, хорька и американской норки. Озеро является местом обитания водных и околоводных птиц. Из утиных здесь гнездятся, либо могут выбирать места для гнездований кряква *Anas platyrhynchos*, обнаруженная в процессе нашего полевого обследования, а также широконоска *A. clypeata*, чирок-трескунок *A. querquedula*, серая утка *A. strepera*, чирок-свистунок *A. crecca*, шилохвость *A. acuta*, красноголовый нырок *Aythya ferina*, гоголь *Bucephala clangula*, черношейная поганка *Podiceps nigricollis*, чомга *P. cristatus*, лысуха *Fulica atra*, серая цапля *Ardea cinerea*. Не исключены встречи большого баклана *Phalacrocorax carbo*, серого гуся *Anser anser*, хохлатой чернети *Aythya fuligula*. Акватория озера может привлекать и охраняемые виды птиц, таких как красношейная поганка *Podiceps auritus*, серощекая поганка *P. grisegena*, большая белая цапля *Casmerodius albus*, черный аист *Ciconia nigra*, красноносый нырок *Netta rufina*, о миграциях которых, известно из красных книг и литературы. Из хищных птиц можно отметить встреченного в процессе обследования черного коршуна *Milvus migrans* , также могут отмечаться болотный *Circus aeruginosus* и полевой *C. cyaneus* луни, канюк *Buteo buteo*, перепелятник *Accipiter nisus*, чеглок *Falco subbuteo*, орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla*; из ржанкообразных встречаются малый зуек *Charadrius dubius*, травник *Tringa totanus*, бекас *Gallinago gallinago*, озерная чайка *Chroicocephalus ridibundus* и речная крачка *Sterna hirundo*. На влажных лугах можно встретить коростеля *Crex crex*, чибиса *Vanellus vanellus*, белую *Motacilla alba* и *желтую M. flava* трясогузок, певчего сверчка *Helopsaltes certhiola*, черноголового чекана *Saxicola rubicola*.

Озеро и прилегающая территория служат местом естественного обитания и других животных, прежде всего, насекомых — бабочек, жуков, стрекоз и др. Таким образом, в ходе обследования был сделан вывод, что сохранение природной экосистемы озера Рогулькового в целом будет способствовать сохранению многих видов растений и животных, в том числе краснокнижного статуса.

Поскольку озеро Рогульковое располагается в некоторой удаленности от населенных пунктов, был сделан вывод, что в целом объект испытывает умеренную антропогенную нагрузку.

Основной целью для создания ООПТ на рассматриваемом участке было предложено обеспечение сохранения редких и охраняемых видов растений, а также околоводных животных и их мест обитания на озере Рогульковое.

Экологическая значимость территории была обусловлена, прежде всего, необходимостью сохранения присутствующих здесь объектов растительного и животного мира, включенных в Красную книгу Алтайского края, основными из которых являются **рогульник плавающий (водяной орех, чилим)** *Trapa natans* L., популяция которого в озере, по данным обследования, является крупнейшей в крае, а также **кувшинка чистобелая** *Nymphaea candida* J. Presl et C. Presl, особи которой найдены при проведении наших работ. Кроме того, акватория озера может привлекать и охраняемые виды птиц, таких как **красношейная поганка** *Podiceps auritus*, **серощекая поганка** *P. grisegena*, **большая белая цапля** *Casmerodius albus*, **черный аист** *Ciconia nigra*, **красноносый нырок** *Netta rufina*, **степной лунь** *Circus macrourus*.

Озеро и прилегающая территория служат местом естественного обитания и других животных — наземных позвоночных и насекомых. На территории проектируемого памятника природы «Озеро Рогульковое» в ходе обследования, проведенного в 2019 г., зарегистрировано не менее 45 видов сосудистых растений, отмечено не менее 47 видов наземных позвоночных, включая 38 видов птиц, что достаточно велико для территории подобного размера.

Таким образом, сохранение природной экосистемы озера Рогулькового в целом будет способствовать сохранению многих видов растений и животных, в том числе краснокнижного статуса [6–7].

Заключение

Зачастую природные экосистемы нуждаются в сохранении, придание же им статуса особо охраняемой природной территории помогает не только стабилизировать биоразнообразие, но и полноценно использовать имеющийся рекреационный потенциал [8]. Проведенное комплексное экологическое обследование озера и прилегающей к нему территории показало перспективность и несомненную целесообразность присвоения объекту статуса особо охраняемой природной территории (ООПТ) краевого значения. Озеро Рогульковое, обладает уникальным биологическим разнообразием, а создание ООПТ краевого значения «Памятник природы «Озеро

Рогульковое» позволило бы сберечь исторически сформированный природный комплекс, многие уникальные объекты и сообщества живой природы. Они включают в себя такие редкие краснокнижные объекты животного и растительного мира как занесенные в Красную книгу Алтайского края растения — рогульник плавающий (водяной орех, чилим) *Trapa natans* L., популяция которого в озере, по данным обследования, является крупнейшей в крае, а также кувшинку чисто-белую *Nymphaea candida* J. Presl et C. Presl, особи которой найдены при проведении работ. Кроме того, акватория озера может привлекать и охраняемые виды птиц, таких как красношейная поганка *Podiceps auritus*, серощекая поганка *P. grisegena*, большая белая цапля *Casmerodius albus*, черный аист *Ciconia nigra*, красноносый нырок *Netta rufina*, степной лунь *Circus macrourus*. Озеро и прилегающая территория служат местом естественного обитания и других животных — наземных позвоночных и насекомых.

В рамках проведенного исследования было разработано положение об особо охраняемой природной территории краевого значения «Памятник природы «Озеро Рогульковое», в котором предусматривался и режим охраны исходя из целей создания ООПТ и требований природоохранного законодательства.

В свете проведенной работы для Министерства природных ресурсов и экологии Алтайского края был подготовлен комплексный научно-исследовательский отчет, предложены схемы границ ООПТ. В 2020 году Постановлением правительства Алтайского края от 09.10.2020 № 443 «О некоторых постановлениях Администрации Алтайского края» было принято решение о создании ООПТ «Озеро Рогульковое» [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутикова Л.А. Коловратки фауны СССР. — Л.: Наука, 1970. — 742 с.
2. Мануйлова Е.Ф. Ветвистоусые рачки Cladocera фауны СССР. — М.-Л.: Наука, 1964. — 362 с.
3. Мордухай-Болтовский Ф.Д. Материалы по среднему весу водных беспозвоночных бассейна Дона // Труды проблемных и тематических совещаний ЗИН АН СССР. Вып. 2. — М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1954. — С. 223–241.
4. Атлас Алтайского края. Т. 1. — М.-Барнаул: ГУГК, 1978. — 222 с.
5. Средняя Сибирь / Ред. колл. И.П. Герасимов. — М.: Наука, 1964. — 480 с.
6. Красная книга Алтайского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений. Т. 1. — Барнаул: ОАО «ИПП «Алтай», 2006. — 262 с.
7. Красная книга Алтайского края Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. Т. 2. — Барнаул: ОАО «ИПП «Алтай», 2006. — 211 с.
8. Млынар Е.В. Рекреационный потенциал экосистем Дальнего Востока / Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2024. Т. 101. № 3–2. С. 128.
9. Постановлением правительства Алтайского края от 09.10.2020 № 443 «О некоторых постановлениях Администрации Алтайского края».

© Млынар Евгений Викторович (mlynar@bk.ru); Хованский Игорь Евгеньевич; Дмитрович Владимир Владимирович
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.36

РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ И МЕХАНИЗМОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ПРИ СОХРАНЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ И СТАБИЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Семенова Наталья Павловна
Кандидат биологических наук, Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего Образования Всероссийский государственный университет юстиции, г. Москва
ns38@bk.ru

Аннотация. Проблема сохранения биологического разнообразия на сегодняшний день приобретает все большую актуальность, поскольку оно напрямую связано с устойчивостью экосистем и благополучием человечества в целом. Россия, как крупнейшая страна по территории, несет особую ответственность за сохранение мировой природы. Ее природные экосистемы — от тундры до тропических лесов — представляют собой важнейшие элементы глобального экологического баланса. На территории России расположены уникальные природные объекты, в том числе редкие и уязвимые виды флоры и фауны, что делает ее ключевым игроком в вопросе охраны биологического разнообразия. В последние десятилетия были предприняты шаги по созданию природоохранных территорий, таких как заповедники, национальные парки и охраняемые природные территории, а также разработаны стратегии по охране редких видов и предотвращению деградации экосистем. Однако, несмотря на предпринимаемые усилия, проблемы сохранения биологического разнообразия остаются актуальными и требуют дальнейших действий. В статье предлагаются конкретные меры и механизмы, направленные на сохранение биологического разнообразия и стабильного состояния природной среды.

Ключевые слова: устойчивое развитие, экосистема, биологическое разнообразие, природная среда, экологические проблемы.

DEVELOPMENT OF PRINCIPLES AND MECHANISMS THAT ENSURE THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF HUMAN SOCIETY WHILE PRESERVING BIOLOGICAL DIVERSITY AND A STABLE STATE OF THE NATURAL ENVIRONMENT

N. Semenova

Summary. The problem of preserving biological diversity is becoming increasingly relevant today, as it is directly related to the sustainability of ecosystems and the well-being of humanity. Russia, as the largest country in terms of territory, has a special responsibility for preserving the world's nature. Its natural ecosystems — from tundra to tropical forests — represent the most important elements of the global ecological balance. Russia has unique natural sites, including rare and vulnerable species of flora and fauna, which makes it a key player in the protection of biological diversity. In recent decades, steps have been taken to create conservation areas such as nature reserves, national parks, and protected natural areas, as well as strategies to protect rare species and prevent ecosystem degradation. However, despite the efforts being made, the problems of preserving biological diversity remain acute.

Keywords: sustainable development, ecosystem, biological diversity, natural environment, environmental problems.

В настоящее время особого внимания и конкретных практических действий от мирового сообщества требует решение глобальной экологической проблемы сохранения биологического разнообразия, доставшегося нам от эволюции, в целях создания благополучного будущего для наших потомков. Как справедливо отмечал Исполнительный секретарь Секретариата Конвенции ООН о биологическом разнообразии Браулью Феррейра ди Соза Диаш, «биоразнообразие является условием нормального функционирования экосистем, от которых зависит благополучие человека — не только в том, что касается экономики, но также здоровья, продовольственного обеспечения, предотвращения природных бедствий и защиты наших культурных корней» [1]. Сохранение, восстановление и рациональное использование биоразнообразия действительно имеют решающее значение в решении ключевых глобальных проблем нашего времени. В условиях изменения климата, растущего давления на экосистемы и истощения природных ресурсов вопросы охраны природы и устойчивого использования биологических ресурсов становятся важнейшими приоритетами для всех стран мира.

В этой связи достижение устойчивого прогресса для человечества, окружающей среды и их благосостояния должно занять одно из центральных мест в приоритетах современности, а разнообразие живых организмов и природные экосистемы должны стать основополагающими аспектами экономического роста.

Актуальность экологического приоритета устойчивого развития: постановка задачи

В последние годы устойчивое развитие стало основным направлением прогресса человечества в XXI веке, и это подтверждается документами, принятыми на трех недавних конференциях ООН. В 2012 году все государства-члены ООН согласовали стратегию, направленную на будущее человечества, которая основывается на принципах устойчивого развития и перехода к «зеленой» экономике [2[, на конференции 2015 году (Нью-Йорк, сентябрь) были приняты цели устойчивого развития ООН (ЦУР) (Sustainable Development Goals) для всех стран до 2030 года, которые были сформулированы в «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года» [3]. В декабре 2015 года было одобрено Парижское соглашение о борьбе с изменениями климата, в котором предусматривается радикальная экологизация мировой и национальных экономик [4]. Хотя указанные документы получили поддержку всех стран, можно сделать вывод, что устойчивое развитие стало официальным направлением глобального развития в XXI веке. Несмотря на важность решения задач, связанных с устойчивым развитием, следует помнить, что достижение этой концепции невозможно без сохранения биологического разнообразия и стабильной природной среды. Действительно, экологический аспект устойчивого развития является основой концепции, которая направлена на гармонизацию отношений человека с окружающей средой, чтобы обеспечить долговременное благосостояние не только для нынешних поколений, но и для будущих. Внедрение принципов и механизмов, способствующих устойчивости биологических и экологических систем, имеет решающее значение для долгосрочной сохранности природы, экосистемных услуг и, как следствие, самого существования человечества.

Важным моментом, который стал поворотным в переходе исследования биологического разнообразия из области науки в рамки международных обязательств по охране жизни на планете, является подписание Конвенции о биологическом разнообразии 5 июня 1992 года на Всемирной Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро, известной как Саммит «Планета Земля» [5]. В результате сформировалась область международного правового сотрудничества, направленная на контроль за состоянием окружающей среды на нашей планете. В этом контексте защита биоразнообразия стала ключевым фактором для достижения равновесия в биосфере и устойчивого развития человечества. Эти обстоятельства привели к тому, что каждой стране стало необходимо адаптировать представленные идеи в соответствии со своими интересами и особенностями. Вновь встала задача пересмотреть свои стратегические перспективы и определить возможный вклад в глобальную устойчивость, от которой, в конечном итоге, зависит успешная реализация национальных планов развития.

Российская Федерация подтвердила свою готовность к внедрению концепции охраны биологического разнообразия, так как на ее территории располагается крупнейший массив природных экосистем (это составляет одну восьмую часть всех суши на планете), включая почти все виды биоразнообразия Северной Евразии. В 1995 году, ратифицировав Конвенцию по биологическому разнообразию, на уровне федерального правительства были приняты несколько законодательных актов: «Об охраняемых природных территориях» (1995 г.), «О животном мире» (1995 г.), «Об экологической экспертизе» (1995 г.), «О континентальном шельфе РФ» (1995 г.), Водный и Лесной кодексы РФ (2006), Экологическая доктрина РФ (2002) и др. Россия также взяла на себя обязательство по разработке Национальной стратегии его сохранения и соответствующего Плана действий по сохранению биоразнообразия России [6]. Стратегия, направленная на сохранение биоразнообразия, охватывает не только защиту естественных экосистем, но и предполагает более широкий подход, включающий как сохранение природных ресурсов, так и управление культурными и антропогенными системами, которые играют важную роль в жизни человека. Важно, что она ориентирована на достижение устойчивости экосистем и рациональное использование природных ресурсов, что помогает не только сохранить биоразнообразие, но и создать условия для долгосрочного благосостояния человека. Эта цель достигалась посредством реализации комплекса взаимосвязанных задач, включавших инвентаризацию и мониторинг биоразнообразия, расширение и оптимизацию сети особо охраняемых природных территорий, разработку и внедрение механизмов экологического регулирования, а также повышение экологической культуры населения. Особое внимание уделялось сохранению редких и исчезающих видов, восстановлению нарушенных экосистем и предотвращению интродукции чужеродных видов, способных негативно повлиять на местные популяции. В конечном счете стратегия стремилась обеспечить баланс между потребностями экономического развития и необходимостью сохранения уникального природного наследия.

Также Президент Российской Федерации утвердил значимые документы стратегического планирования. Один из этих документов — Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года [7]. Данный документ подчеркивает важность комплексного подхода к обеспечению экологической безопасности и устойчивости экосистем в условиях, когда глобальные экологические вызовы становятся все более очевидными. Важными аспектами государственной политики в этой сфере являются сохранение и восстановление природных ресурсов, обеспечение качества

окружающей среды для улучшения качества жизни человека и поддержания устойчивого экономического роста, а также ликвидация ущерба, причиненного экологией в результате человеческой деятельности.

Другой — Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года [8], где потери биологического разнообразия, наряду с другими негативными для окружающей среды процессами (изменением климата, опустыниванием и пр.), отнесены к глобальным экологическим проблемам. Очевидная ценность принятия данного документа заключается в том, что он устанавливает стратегические цели и основные задачи государства по охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности, а также определяет механизмы их осуществления. Важной составляющей государственной политики в области экологического развития является решение социально-экономических вопросов, направленных на содействие экологически устойчивому экономическому росту. Это включает сохранение чистой окружающей среды, защиту биологического разнообразия и природных ресурсов, что необходимо для удовлетворения потребностей как нынешних, так и будущих поколений. Кроме того, важным аспектом является реализация права каждого человека на безопасное и комфортное житье в окружающей среде, а также укрепление механизма обеспечения этого права и обеспечение устойчивой экологической безопасности.

Для достижения поставленной цели предложено решить следующе основные задачи, среди которых особую роль, на наш взгляд, играет совершенствование нормативно-правового обеспечения охраны окружающей среды и экологической безопасности. В целях совершенствования правовых механизмов в Национальной стратегии сохранения биологического разнообразия целесообразно предусмотреть положения, касающиеся разработки узкоспециализированных законов, направленных на защиту биоразнообразия. Например, необходимо инициировать создание законопроектов, подобных закону «О растительном мире» (при этом следует отметить, что закон «О животном мире» уже принят довольно давно), а также разработать проект закона «О национальном ландшафте России» и другие подобные инициативы. Эти меры должны быть ориентированы на защиту образцовых, неприкосновенных и минимально нарушенных природных экосистем.

Важную роль в сохранении биоразнообразия нашей страны призваны сыграть региональные власти, посредством принятия Стратегий сохранения биоразнообразия для своих регионов на конкретный период времени (например, до 2035 года), направленных на выполнение стратегической цели и задач, определенных Стратегией социально-экономического развития конкретной территории (такой документ есть практически в каждом субъекте РФ), в части охраны окружающей среды через сохранение и устойчивое использование биоразнообразия — ключевого элемента окружающей среды. Обоснование необходимости регионального подхода в реализации стратегии связано с ярко выраженными отличиями между регионами, касающимися природных и социально-экономических условий, а также уровня изменений в природных системах и степени влияния человека на них. Региональные стратегии должны, с одной стороны, опираться на принципы, предложенные Национальной стратегией по охране биоразнообразия России, а с другой — учитывать уникальные природные и социально-экономические условия конкретного региона. В общем, содержание региональных стратегий должно формулировать цели, задачи, принципы, приоритеты и ключевые направления политики субъекта Российской Федерации в области охраны биоразнообразия, устойчивого использования его компонентов и справедливого распределения выгод от эксплуатации природных ресурсов на долгосрочной основе, учитывая интересы жителей региона.

Структура региональной стратегии по охране биоразнообразия может включать несколько ключевых элементов: анализ текущего состояния биоразнообразия в данном регионе и меры по его защите; идентификация потенциальных угроз для биоразнообразия (оценка угроз может быть проведена поэтапно, начиная с инвентаризации видов для сохранения генофонда); мероприятия, направленные на охрану биоразнообразия региона; целевые установки, приоритеты и принципы охраны биоразнообразия; порядок создания базы данных, посвященной биоразнообразию; механизмы осуществления стратегии и другие важные аспекты.

Основная цель региональной Стратегии может быть определена посредством обеспечения согласованного и эффективного использования всех возможных средств и механизмов сохранения биоразнообразия, их совершенствование в рамках и в направлении выбранных принципов и приоритетов.

Успех устойчивого развития заключается в установлении экологического приоритета в области охраны биоразнообразия

В настоящий момент можно выделить ряд приоритетных задач в сфере сохранения биоразнообразия, хотя каждый регион должен разработать собственный уникальный набор задач. В современных условиях одной из важнейших задач является сохранение естественных экосистем и природных ландшафтов, которые играют ключевую роль в поддержании экологического равновесия. Наряду с этим необходимо разрабатывать и внедрять программы, направленные на восстановле-

ние утраченных видов и экосистем, минимизируя любые негативные воздействия, связанные с человеческой деятельностью, и обеспечивая устойчивое использование биологических ресурсов. Разработка региональных стратегий по охране биоразнообразия должна опираться на научные исследования и лучшие практики, адаптированные к местным условиям. К этому процессу необходимо привлекать ученых, экологов, представителей общественности и местного населения, чтобы обеспечить всесторонний учет интересов и выработку эффективных решений. Ключевым аспектом становится создание и поддержание систем охраняемых природных территорий, включающие заповедники, национальные парки и заказники, которые смогут быть надежным убежищем для редких и находящихся под угрозой исчезновения видов.

В различные сферы человеческой деятельности также необходимо активно интегрировать экологически безопасные технологии и практики. Это касается как крупных промышленных предприятий, так и малый и средних предприятий, а также индивидуальных предпринимателей. Важную роль в этом процессе играют экологическое просвещение и повышение уровня экологической грамотности среди населения, так как осознанное отношение к природе является ключом к ее сохранению.

Комплексный подход, который сочетает в себе научный анализ, практические меры и широкое участие общественности, позволит создать прочный фундамент для эффективной охраны биоразнообразия в каждом регионе, сохранив при этом его уникальные природные богатства для будущих поколений.

Для успешного достижения поставленной цели необходима интеграция усилий как на международном, национальном так и локальном уровнях. Важным шагом на пути к устойчивому развитию станет создание эффективных инструментов, которые позволят поддерживать максимально возможный уровень биоразнообразия. Это шаг потребует как технологических инноваций, так и принятия стратегических решений, которые будут ориентированы на долгосрочный результат, включая повсеместное внедрение образовательных инициатив для повышения информированности общественности о современном состоянии и проблемах охраны биоразнообразия. Такой комплексный подход поможет сохранить богатство живой природы, а также обеспечить экологически безопасное будущее для следующих поколений.

В соответствии с этим следует выделить следующие принципы: учет особенностей отдельных природно-территориальных комплексов, отличающихся как природно-зональными свойствами и состоянием природы, так и характером освоения и современной хозяйственной деятельностью, при разработке мероприятий по сохранению биоразнообразия; современная нормативная база, позволяющая выработать и реализовать единую систему управления охраной биоразнообразия; разработка целевых программ по экологическому образованию и просвещению, включающих охрану биологического разнообразия.

Для достижения поставленных результатов в области охраны биоразнообразия стратегия должна строиться на конкретных механизмах реализации, которые включают в себя как основные принципы, так и приоритетные. В число основных аспектов этой стратегии входят:

— юридический: основополагающим шагом становится утверждение плана действий по охране биоразнообразия в качестве регионального нормативного документа. Это поможет создать необходимую законодательную и нормативную базу для эффективного управления природными ресурсами. Важно также учитывать интересы сохранения биоразнообразия при проведении экологических экспертиз для проектов хозяйственной деятельности, что обеспечит защиту экосистем от негативного воздействия человека;
— экономический: предполагается введение запрета на вылов редких и исчезающих видов животных и растений, разработка системы штрафов, установление платы за использование природных ресурсов, а также налоговые льготы, основывающиеся на экономической оценке биоразнообразия. Целесообразно развивать рынок экологических услуг, где компании и частные лица могут приобретать «компенсационные» услуги, направленные на восстановление и поддержание биоразнообразия в качестве компенсации за нанесенный ущерб. Этот инструмент способен стимулировать инвестиции в природоохранные проекты и создавать дополнительные источники финансирования для сохранения экосистем;
— реализационный: осуществление конкретных мероприятий, направленных на защиту биоразнообразия. Важной составляющей должен явиться и мониторинг эффективности предпринимаемых мер. Регулярная оценка состояния популяций охраняемых видов, анализ динамики экосистем и выявление новых угроз позволит оперативно корректировать стратегию и адаптировать методы работы;
— сотруднический: взаимодействие различных организаций, координация их действий и планирование совместных инициатив являются ключевыми для успешной реализации стратегии. Это включает в себя сотрудничество между государственными органами, научными учреждениями, неправительственными организациями и бизнесом;

— управленческий: формирование единой системы для координации и управления охраной биоразнообразия, а также контроль за состоянием экосистем, является необходимым условием для достижения поставленных целей. Эффективное управление должно основываться на научных данных и мониторинге состояния природных ресурсов;
— эколого-просветительский: повышение уровня экологической осведомленности и культуры, распространение экологических знаний и формирование общественного мнения по вопросам сохранения биоразнообразия играют важную роль. Активное вовлечение граждан в реализацию мероприятий в этой области способствует созданию ответственного отношения к природе и формированию устойчивых практик охраны окружающей среды. В соответствии с Национальной стратегией, задача по сохранению биоразнообразия в России должна решаться на уровне социо-экосистем, что подразумевает взаимодействие социально-экономических и природных факторов. Будущее охраны биоразнообразия будет определяться социально-педагогической деятельностью; его устойчивость возможна только при условии, что осведомленность и ответственность различных групп общества, а также уверенность в необходимости действий в этой сфере будут постоянно возрастать.

Стратегия сохранения биоразнообразия естественных экосистем и охраной культурных форм живых организмов — это обширная задача, затрагивающая разные аспекты жизни общества. Устойчивое использование природных ресурсов, участие местных сообществ и международное сотрудничество являются основными факторами успеха в этой области. Только совместными усилиями мы сможем обеспечить будущее, которое будет гармоничным для природы и человека.

Сохранение биоразнообразия является важным вкладом в устойчивое развитие. Направляя усилия на создание благоприятных условий для жизни, мы не только защищаем нашу планету, но и обеспечиваем качественное существование для будущих поколений. Объединение научного подхода и местного знания поможет нам не только сохранять, но и восстанавливать природные системы, ценность которых невозможно переоценить. Одна из основных трудностей заключается в практической реализации разработанных мер по охране биоразнообразия, что, в свою очередь, непосредственно связано с применением соответствующих механизмов, включая выполнение программных мероприятий в рамках федеральной и региональных стратегий сохранения биоразнообразия, без которых результативность усилий по сохранению биоразнообразия крайне низка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биоразнообразие — необходимое условие устойчивого развития: Послание Генерального секретаря ООН по случаю Международного дня биологического разнообразия 22 мая 2015 года // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.unepcom.ru/news/news2015/864-150522biodiversity.html#:~:text.
2. Будущее, которого мы хотим: Итоговый документ Конференции ООН. Рио-де-Жанейро. 2012 // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.uncsd2012.org/.
3. Итоговый документ саммита Организации Объединенных Наций по принятию повестки дня в области развития на период после 2015 года: Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R.
4. Конвенции о биологическом разнообразии (Рио-де-Жанейро, 5 июня 1992 г.), вступила в силу для России 04.07.1995 // Бюллетень международных договоров. — 1996. — № 9. — С. 3.
5. Национальная стратегия и План действий по сохранению биологического разнообразия Российской Федерации// [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.cbd.int/doc/world/ru/ru-nbsap-v2-ru.pdf.
6. Основы государственной политики в области экологического развития России на период до 2030 года, утв. Президентом РФ от 30.04.2012 // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70069264/.
7. Парижское соглашение согласно Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. ООН, Париж, 2015.
8. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025, утв. Указом Президента Российской Федерации 19.04.2017 № 176 // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71559074/.

© Семенова Наталья Павловна (ns38@bk.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.41

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СУБСТРАТОВ НА МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭФИРОМАСЛИЧНЫХ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE ПРИ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ EX VITRO

INFLUENCE OF SUBSTRATE COMPOSITION ON MORPHOPHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF ESSENTIAL OIL PLANTS-REGENERATORS OF THE FAMILY LAMIACEAE DURING ADAPTATION TO EX VITRO CONDITIONS

L. Tokhtar
N. Zhilyaeva
V. Chernykh
V. Tokhtar
M. Tretyakov
D. Biryukov

Summary. The article provides data on the effect of various types of substrates on essential oil-rooted *in vitro* regenerating plants *Mentha piperita* L. (variety Kubanskaya 6), *Origanum vulgare* L. (varieties Mila and Khutoryanka), *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij. Sand, agroperlite, vermiculite, and silicite were used as additives in a 1:5 ratio with peat. Morphophysiological characteristics were evaluated using a 3D multispectral scanner Phenospex PlantEye F500 according to the following parameters: 3D leaf area; leaf area index; projected leaf area; digital biomass; plant height; maximum height; leaf slope; leaf angle; depth of light penetration through leaves; leaf shade; green leaf index (GLI); normalized differential vegetation index (NDVI); normalized chlorophyll index (NPCI); leaf aging index (PSRI). The effect of substrate types on regenerating plants was calculated using the growth rates of morphophysiological parameters according to the basic method and the degree of parameter connectivity using the weight of the correlation graph. During the conducted research, the optimal types of substrates for the successful adaptation of the studied species of essential oil plants were identified.

Keywords: adaptation, regenerating plants, *Mentha piperita* L., *Origanum vulgare* L., *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij., types of substrates.

Тохтарь Людмила Анатольевна
кандидат биологических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
ltokhtar@bsuedu.ru
Жиляева Наталья Васильевна
Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
natali.zhilyaeva1979@mail.ru
Черных Владислав Алексеевич
Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
1249316@bsuedu.ru
Тохтарь Валерий Константинович
Доктор биологических наук, Старший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
tokhtar@bsuedu.ru
Третьяков Михаил Юрьевич
кандидат биологических наук, научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
tretyakovmiy@gmail.com
Бирюков Денис Валерьевич
Младший научный сотрудник, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Научно-образовательный центр «Ботанический сад НИУ «БелГУ», г. Белгород
biryukov@bsuedu.ru

Аннотация. В статье приводятся данные по влиянию различных типов субстратов на эфиромасличные укорененные *in vitro* растения-регенеранты *Mentha piperita* L. (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* L. (сорта Мила и Хуторянка), *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij. В качестве добавок использовали песок, агроперлит, вермикулит, кремневит в соотношении с торфом 1:5. Оценку морфофизиологических характеристик проводили при помощи 3D мультиспектрального сканера Phenospex PlantEye F500 по следующим параметрам: 3D площадь листьев; индекс площади листа; проектируемая площадь листьев; цифровая биомасса; высота растений; максимальная высота; наклон листьев; угол наклона листьев; глубина проникновения света через листья; оттенок листьев; индекс зеленого листа (GLI); нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI); нормализованный индекс хлорофиллов (NPCI); индекс старения листьев (PSRI). Влияние типов субстратов на растения-регенеранты рассчитывалось при помощи темпов приростов морфофизиологических показателей по базисному методу и степени связанности параметров с помощью веса корреляционного графа. В ходе проведенных исследований выявлены оптимальные типы субстратов для успешной адаптации изученных видов эфиромасличных растений.

Ключевые слова: адаптация, растения-регенеранты, *Mentha piperita* L., *Origanum vulgare* L., *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij., типы субстратов.

Введение

Интерес к возделыванию растений, содержащих эфирные масла, обусловлен увеличивающейся потребностью в натуральных продуктах и экологизации производства. Эфиромасличные растения и продукты их переработки используются в парфюмерно-косметической, пищевой, кондитерской, ликеро-водочной и фармацевтической промышленности [1].

В настоящее время для создания новых высокопродуктивных форм и сортов хозяйственно ценных растений широко применяются биотехнологические методы, позволяющие существенно ускорять селекционный процесс. При этом использование методов клонального микроразмножения позволяют не только быстро размножать *in vitro* ценные образцы, но и внедрять новые сорта в производство.

Адаптация *ex vitro* растений-регенерантов является заключительным этапом клонального микроразмножения. На этом этапе морфогенетический потенциал растений-регенерантов может быть наиболее эффективно реализован при соблюдении оптимальных условий среды, в которые переносятся растения *in vitro*. При этом одним из наиболее важных факторов является состава субстратов, применяемых для адаптации растений-регенерантов к нестерильным условиям [2]. Чаще всего для адаптации используют минерализованные торфяные субстраты и их смеси с агроперлитом. Однако в настоящее время продолжается изучение возможностей применения и других субстратов с целью увеличения доли успешно адаптированных растений и улучшения их роста и развития [3–5].

Субстраты, применяемые для адаптации, как правило, являются двух- трехкомпонентными смесями, в которых используются такие исходные вещества как торф, песок, перлит, ионообменные субстраты, биогумус, минеральные удобрения, водоудерживающие препараты.

Улучшение свойств торфосмеси для адаптации растений-регенерантов к условиям *ex-vitro* может достигаться путем добавления неорганических компонентов: песок, агроперлит, цитро- и фосфогипс. Их использование позволяет оптимизировать агрохимические характеристики и водно-физические свойства субстратов, а в некоторых случаях активизировать микробиологические процессы в них [6].

В работах по адаптации к нестерильным условиям *ex vitro* сортового посадочного материала брусники обыкновенной *in vitro* было установлено, что наибольшая приживаемость растений выявлена при использовании следующих типов субстратов: торф верхового типа и смесь торфа с перлитом (1:4); торф с вермикулитом (1:4) [7–9]. В работах Колбановой и др. [10] установлено, что растения-регенеранты смородины черной (*Ribes nigrum* L.), высаженные в почвенные субстраты, состоящие из различных комбинаций торфа, перлита и вермикулита, на 21-е сутки адаптационного периода имели стопроцентную приживаемость у всех исследуемых сортов растений в варианте торф+перлит. При применении лишь торфа (контроль) приживаемость растений-регенератов составила 80,0 %. В статье также отмечено, что морфометрические показатели растений-регенератов в зависимости от сорта смородины черной были выше в вариантах применения субстрата с использованием комбинации торф+перлит и торф+вермикулит [10].

Еще одним компонентом, который может быть рекомендован в качестве неорганической составляющей добавки в субстраты на этапе адаптации растений-регенерантов, являются гипсосодержащие отходы промышленных производств (фосфо- и цитрогипс). Они положительно влияют на рост и развитие растений [11–13], а, следовательно, и адаптацию микроклонов к нестерильным условиям среды.

Материалы и методы

Объектами исследований являлись укорененные *in vitro* растения-регенеранты *Mentha piperita* L. (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* L. (сорта Мила и Хуторянка), *Hyssopus seravschanicus* (Dubj.) Pazij., которые имели не менее 4–5 листьев и развитую корневую систему.

Для адаптации к условиям *ex vitro* растения высаживали в кассеты с объемом ячейки 50 мл, заполненные субстратом на основе верхового торфа с комплексом удобрений марки «Агробалт-С», который по данным производителя имеет следующие характеристики: pH 5,5–6,6, содержание азота (N) — 150 мг/л, фосфора (P_2O_5) — 150 мг/л, калия (K_2O) — 250 мг/л, магния (Mg) — 30 мг/л, кальция (CaO) — 120 мг/л, микроэлементы, органического вещества не менее 80 %.

Для улучшения агрофизических и физико-химических показателей субстрата в качестве добавок использовали песок, агроперлит, вермикулит, кремневит в соотношении с торфом 1:5.

На период адаптации кассеты с высаженными растениями размещали в отапливаемой теплице в парниках, накрытых полиэтиленовой пленкой для создания условий повышенной влажности. Внутри парников установлены светодиодные светильники с автоматической регулировкой интенсивности освещения. Условия адаптации: температура воздуха +24±2°C, освещенность — 4000 люкс, фотопериод 16/8 часов. Для поддержания высокого уровня увлажнения ежедневно осуществлялось опрыскивание растений и их полив по мере необходимости.

Для оценки влияния типов субстратов на морфофизиологические характеристики растений использовали 3D мультиспектральный сканер Phenospex PlantEye F500, который позволяет без инвазивного воздействия оценивать динамику изменений параметров объектов в процессе проведения экспериментов. В ходе эксперимента исследовались следующие показатели роста и развития растений: 3D площадь листьев (3D Leaf Area), см^2; индекс площади листа (Leaf Area Index) см^2/см^2; проектируемая площадь листьев (Projected Leaf Area), см^2; цифровая биомасса (Digital Biomass), см^3; высота растений (Height), мм; максимальная высота (Height Max), мм; наклон листьев (Leaf Inclination), см^2/см^2; угол наклона листьев (Leaf Angle), от 0 до 90°; глубина проникновения света через листья (Light Penetration Depth), мм; оттенок листьев (Hue) — диапазон значений от 0 до 360° цветового круга; индекс зеленого листа (Green Leaf Index (GLI)) — диапазон значений от –1 до 1; нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (Normalized differential vegetation index (NDVI)) — диапазон значений от –1 до 1; нормализованный индекс хлорофиллов (Normalized pigment chlorophyll ratio index (NPCI)) — диапазон значений от –1 до 1; индекс старения листьев (Plant senescence reflectance index (PSRI)) — диапазон значений от –1 до 1.

Все измерения обрабатывались статистически с помощью вычисления следующих величин: среднее арифметическое, стандартное отклонение, доверительный интервал.

Темп прироста морфофизиологических показателей растений рассчитывался по базисному методу согласно формуле (1):

$$\Delta ТР = \frac{(Пк - Пн)}{Пн} \times 100\% \quad (1)$$

где Пк — конечные значения показателя; Пн — начальные значения показателя.

Для оценки адаптивного потенциала растений-регенерантов использовались значения, полученные в ходе проведения эксперимента на 3D мультиспектральном сканере Phenospex PlantEye F500.

Анализ коэффициентов парной корреляции [14] производился между всеми изученными параметрами на средних значениях по всем растениям в течение всего эксперимента. Степень связанности параметров оценивалась с помощью веса корреляционного графа по формуле (2) согласно исследованиям, проведенным в работе Горбань А.Н. с соавторами [14]:

$$G = \sum_{|r_{i,j}| \geq 0.5} |r_{i,j}| \quad (2)$$

где $r_{i,j}$ — коэффициент корреляции между *i*-м и *j*-м показателями.

Показатели значений графов, основанные на изучении корреляций признаков, рассматриваются нами как параметры, которые отражают интегрированную оценку характера развития растений в различных условиях среды, включая их адаптацию к условиям *ex vitro*. Неблагоприятные условия могут вызывать у растений несогласованный характер изменчивости признаков при их росте и, как следствие — существенное изменение (увеличение) значений корреляций и графов. В случае, если значения графов изменяются слабо или остаются на одном уровне можно сделать вывод о согласованном

и соразмерном изменении корреляционных признаков в процессе роста и развития растений. Это свидетельствует о нормальном, гармоничном развитии растений в конкретных условиях среды.

Результаты и обсуждение

Полученные в ходе проведения эксперимента средние значения адаптированных растений-регенерантов *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила), *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка), *Hyssopus seravschanicus* позволили рассчитать темпы прироста по каждому показателю, приставленные в таблицах 1–4. По каждому признаку проведена градация от зеленого цвета, которому соответствуют максимальные значения к красному, которому соответствуют минимальные значения.

В ходе проведенного исследования было установлено, что для изученных растений-регенерантов оптимальными типами субстратов дававших набольшее число максимальных темпов прироста были:

Mentha piperita (сорт Кубанская 6) — смесь вермикулита и торфа в соотношении 1:5;

Origanum vulgare (сорт Мила) — смесь вермикулита и торфа в соотношении 1:5;

Origanum vulgare (сорт Хуторянка) — смесь вермикулита и торфа в соотношении 1:5;

Hyssopus seravschanicus — торфяной субстрат без добавок и смесь песка и торфа в соотношении 1:5.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при выборе состава субстратов необходимо руководствоваться эколого-биологическими особенностями культивируемого вида. Растения, произрастающие в естественной среде в одинаковых экологических условиях, хорошо адаптируются на одинаковых типах субстратов. *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила), *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) наиболее активно развивались на смеси вермикулита и торфа в соотношении 1:5. Растения *Hyssopus seravschanicus* более эффективно росли на торфяном субстрате без добавок. Иссоп зеравшанского в естественных условиях произрастает на каменистых склонах, осыпях, галечных степных участках и в ущельях в Иране, Афганистане, Средней Азии [15], что, скорее всего и способствовало успешному культивированию на торфяном субстрате без добавок и смеси песка и торфа в соотношении 1:5.

Для оценки адаптивного потенциала растений-регенерантов к произрастанию на различных типах смесей субстратов был проведен анализ коэффициентов парной корреляции между средними значениями всех изученных параметров в течение начала и окончания эксперимента. Это позволило составить корреляционные матрицы изученных параметров и рассчитать корреляционные графы представленные в таблице 5, значения которых выступают в качестве цифрового показателя адаптационного потенциала модельных видов растений-регенерантов в отношении влияния на них условий выращивания на разных составах субстратов.

Наименьшие значения корреляционного графа характеризуют условия, при которых в растении не происходит никаких значительных изменений и уровень факторов стресса минимален. Полученные результаты анализа адаптационного потенциала отличаются от данных, полученных в ходе анализа темпов прироста по каждому из показателей таблицы 1–4. Максимальные значения темпов прироста отмечены у *Hyssopus seravschanicus* при его выращивании на смеси песка и торфа. Значения же корреляционного графа отличались незначительно: при переносе растений из-под пленки они составили 36,88, а к концу адаптации — 35,09.

Для видов *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила) и *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) наибольшие значения темпов прироста по морфофизиологическим параметрам отмечались в случае использования в качестве субстрата для адаптации смеси торф+вермикулит. Несмотря на это, максимальные и минимальные значения корреляционных графов отличались у каждого вида, что дает возможность более точно выявить оптимальный компонентный состав субстрата для адаптации растений in vitro. Так, у *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6) минимальное изменение значение корреляционного в течение эксперимента графа наблюдалось в случае смеси торф+вермикулит: при переносе растений из-под пленки они составили 28,29, а к концу адаптации — 29,98.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что увеличение темпов прироста цифровой биомассы и индексов NDVI не всегда свидетельствуют о благоприятном развитии растений-регенерантов в условиях адаптации. Любой стресс у растений провоцирует активизацию процессов их роста и развития. При высоких уровнях стрессовых нагрузок на растения на стадии их адаптации к нестерильным условиям среды может нарушаться их нормальное функционирование. При этом значения корреляционных связей признаков будут снижаться, что, по-видимому, может свидетельствовать об ухудшении состояния растений. *Origanum vulgare* (сорт Мила) имел достаточно близкие по разнице значения в начале и конце эксперимента, но с разной динамикой: торф+агроперлит разница составила 5,05 (понижение значений), а торф+вермикулит 5,8 (повы-

Таблица 1.

Влияние состава субстратов на морфофизиологические параметры растений-регенерантов *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6) при адаптации к условиям *ex vitro*

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота макси-мальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площа-ди листа	Проектируемая площадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI
	Темпы приростов, %													
Торф (контроль)	5,06	–10,98	–9,14	–7,57	–8,05	–6,52	16,73	16,69	11,74	5,43	–6,05	–9,40	27,36	45,37
Торф + песок	21,84	–3,79	0,84	–1,09	–5,10	–2,41	22,84	22,79	19,47	1,82	3,58	–7,20	28,00	41,14
Торф + агроперлит	4,99	–4,14	–5,94	–6,82	–6,33	–0,50	10,16	10,16	8,98	0,48	–11,16	–7,26	33,78	45,20
Торф + вермикулит	42,78	3,48	12,67	11,06	–0,73	–5,16	26,68	26,31	21,77	4,17	11,83	0,15	17,14	15,07
Торф + кремневит	12,27	–4,99	–1,51	–0,44	–4,48	–4,13	12,98	13,08	9,03	3,50	0,06	–3,50	12,68	17,90

Таблица 2.

Влияние компонентного состава субстратов, применяемых при адаптации микроклонов к нестерильным условиям среды, на изменения темпов роста значений морфофизиологических параметров растений-регенерантов *Origanum vulgare* (сорт Мила)

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота максимальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площади листа	Проектируемая площадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI
	Темпы приростов, %													
Торф (контроль)	-3,88	-18,86	-6,35	-5,12	-11,30	-11,84	1,20	1,19	-7,81	11,18	7,51	-12,99	34,52	60,07
Торф + песок	18,59	-12,50	-19,11	-16,52	-11,16	1,80	24,84	24,64	25,71	-1,21	-5,29	-8,84	47,14	67,94
Торф + агроперлит	6,63	-12,13	4,30	11,34	-12,16	-2,01	4,21	4,36	3,03	1,23	20,08	-8,72	43,65	61,13
Торф + вермикулит	51,41	-10,36	9,01	8,01	-3,67	-3,51	38,73	38,85	34,17	2,34	37,57	-3,93	1,91	8,28
Торф + кремневит	7,67	-7,14	-1,77	-5,40	-7,79	3,26	13,56	13,45	16,28	-2,25	-3,77	-2,32	31,46	28,31

Таблица 3.

Влияние компонентного состава субстратов, применяемых для адаптации микроклонов к нестерильным условиям среды, на изменения темпов роста значений морфофизиологических параметров растений-регенерантов *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка)

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота максимальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площади листа	Проектируемая площадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI
	Темпы приростов, %													
Торф (контроль)	21,50	–5,86	8,44	13,44	–5,82	–1,61	14,68	14,75	12,81	1,09	16,54	–4,41	20,73	26,11
Торф + песок	–2,07	–4,44	–10,20	–8,47	–6,20	–7,30	8,20	8,22	2,80	6,14	–2,06	–6,95	36,04	45,46
Торф + агроперлит	1,40	–9,99	–12,24	–17,86	–9,09	–1,41	10,81	10,84	10,39	1,07	–8,57	–6,57	26,16	43,94
Торф + вермикулит	33,09	–8,83	3,35	14,04	1,17	–1,91	23,53	23,61	21,79	1,86	39,19	0,51	–18,30	–18,16
Торф + кремневит	2,22	–22,84	–5,78	–6,68	–14,67	–1,54	7,05	6,98	6,04	1,19	8,87	–8,50	18,94	34,60

Таблица 4.

Влияние компонентного состава субстратов, применяемых для адаптации микроклонов к нестерильным условиям среды, на изменения темпов роста значений морфофизиологических параметров растений-регенерантов *Hyssopus seravschanicus*

Компонентный состав субстратов	Цифровая биомасса	Индекс зеленых листьев	Высота	Высота максимальная	Оттенок листьев	Угол наклона листа	Площадь листа	Индекс площади листа	Проектируемая площадь листа	Наклон листа	Глубина проникновения света	NDVI	NPCI	PSRI
	Темпы приростов, %													
Торф (контроль)	133,77	–1,01	37,68	43,22	2,88	–3,77	70,53	71,08	66,53	2,77	83,86	–0,85	–27,49	–21,63
Торф + песок	108,76	26,51	23,73	24,53	10,47	–4,52	71,95	71,19	66,99	4,01	38,52	7,29	–47,00	–68,30
Торф + агроперлит	56,52	2,94	9,85	16,27	6,86	–0,87	43,67	43,37	44,55	0,49	–0,24	2,25	–31,65	–46,94
Торф + вермикулит	84,28	10,17	33,70	33,95	1,96	–1,96	40,20	40,00	34,84	1,32	64,96	2,91	–11,32	–15,78
Торф + кремневит	99,95	3,68	31,08	38,53	3,09	3,93	58,48	58,59	61,19	–3,16	42,91	2,52	–13,79	–23,02

Таблица 5.

Влияние компонентного состава субстратов на адаптационный потенциал модельных растений-регенерантов

Латинское название растения /сорт	Дни проведения оценки растений	Варианты компонентного состава субстратов				
		Торф (контроль)	Торф + песок	Торф + агроперлит	Торф + вермикулит	Торф + кремневит
		Корреляционные графы адаптационного потенциала растений				
Mentha piperita (сорт Кубанская 6)	18	25,34	35,90	20,42	28,29	28,34
	30	26,39	23,89	28,14	29,98	23,45
Origanum vulgare (сорт Мила)	18	14,73	22,44	32,81	34,16	40,34
	30	24,04	39,63	27,73	39,96	18,81
Origanum vulgare (сорт Хуторянка)	18	35,28	17,67	33,97	31,73	20,22
	30	46,76	26,51	49,74	40,56	27,04
Hyssopus seravschanicus	18	37,40	36,88	28,38	40,42	28,62
	30	46,39	35,09	40,02	43,87	30,84

шение значений). У *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) во всех изученных субстратах наблюдалось увеличение значений корреляционного графа, минимальным оно было в случае смеси торф+кремневит и составило 6,82 несмотря на то, что темпы прироста в данном случае были не высоки по сравнению с другими вариантами.

Заключение

Изучение влияния применения различных составов субстратов на адаптацию некоторых эфиромасличных растений *in vitro* к нестерильным условиям среды позволило выявить лучшие типы смесей для всех четырех изученных модельных-видов. Применение компонентного состава субстрата в виде смеси торфа и песка в соотношении 5:1 снизил значения корреляционного графа адаптационного потенциала у двух видов: *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Hyssopus seravschanicus*. Компонентный состав в виде смеси торфа и агроперлита в соотношении 5:1 снижал значения корреляционного графа адаптационного потенциала у *Origanum vulgare* (сорт Мила). Компонентный состав в виде смеси торфа и вермикулита в соотношении 5:1 минимально повысил значения корреляционного графа адаптационного потенциала для *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6). Для остальных же видов повышение значений было более значимым. Данные результаты согласуются с динамикой темпов прироста, по основным показателям, представленным в таблицах 4–7. Компонентный состав в виде смеси торфа и кремневита в соотношении 5:1 снижал значения корреляционного графа адаптационного потенциала у двух видов: *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6), *Origanum vulgare* (сорт Мила).

Таким образом, проведенная с помощью интегральных графов оценка состояния растений *in vitro* на стадии их адаптации позволяет выявить наиболее благоприятные условия произрастания видов и сортов при использовании различных типов субстратов. Наименьшее изменение показателей графов свидетельствует о согласованном и соразмерном характере изменчивости корреляций исследованных признаков в начале и в конце периода адаптации. При этом наблюдается гармоничный рост растений, который свидетельствует о высоком уровне адаптации растений на конкретном субстрате в условиях *ex vitro*. Согласно полученным данным установлено, что растения *Mentha piperita* (сорт Кубанская 6) *Origanum vulgare* (сорт Мила) *Origanum vulgare* (сорт Хуторянка) наиболее успешно адаптировались на субстрате «вермикулит+торф». Растения *Hyssopus seravschanicus* лучше адаптировались к условиям среды на субстрате, «песок торф», что может быть связано с эволюционно выработанными эколого-биологическими особенностями вида, в которых он произрастает в природных условиях.

Финансирование

Работа выполнена в рамках реализации проекта № FZWG-2024–0002 «Разработка междисциплинарных подходов эффективной фиторемедиации отходов промышленных и аграрных предприятий путем фитоэкстракции из них ценных компонентов и создания удобрений на их основе».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ахрамеева М.А. Перспективы использования продуктов переработки эфиромасличного сырья в производстве косметических изделий / М.А. Ахрамеева, Н.В. Глумова // Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений: МАТЕРИАЛЫ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Симферополь, 22–25 июня 2022 года. — Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2022. — С. 127–134.
2. Папихин Р.В. Оптимизация состава торфяных субстратов при культивировании гортензии крупнолистовой (Hydrangea macrophylla) / Р.В. Папихин, С.А. Муратова, К.А. Бекетова // В сборнике: Экологические проблемы в отечественном садоводстве (V Потаповские чтения). Материалы Всероссийской (нацио-

нальной) научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора сельскохозяйственных наук, профессора, лауреата Государственной премии В.А. Потапова. Мичуринск — наукоград РФ, 2023. С. 249–254.
3. Гашенко О.А. Влияние субстратов на ризогенез и адаптацию ex vitro растений-регенерантов ежевики / О.А. Гашенко, В.Н. Кухарчик // В сборнике: Плодоводство. Сборник научных трудов. Минск, 2020. С. 134–138.
4. Колбанова Е.В. Одновременное прямое укоренение ex vitro и адаптация микропобегов жимолости синей (*Lonicera caerulea* L. var. kamtschatica) / Е.В. Колбанова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2020. Т. 58. № 3. С. 298–310.
5. Любимова Е.И. Использование мха-сфагнума на стадии укоренения и адаптации регенерантов ex vitro / Е.И. Любимова, Л.Н. Коновалова // В кн.: Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира. Материалы VII научно-практической конференции. 2016. Ялта, ИТ «АРИАЛ»: 94–95.
6. Кухарчик Н.В. Использование искусственных субстратов при адаптации плодовых и ягодных растений после культуры *in vitro* / Н.В. Кухарчик, С.Э. Семенас, Н.В. Волосевич // Производство и применение агроперлита. Опыт, технологии, перспективы: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Киев, 26–28 мая 2008 г. / Нац. бот. сад им. Н.Н. Гришко НАН Украины, Гос. предпр. «Украин. науч.-исслед. и проектно-конструктор. ин-т строит. материалов и изделий «НИИСМИ». — Киев, 2008. — С. 37–42.
7. Чудецкий А.И. Адаптация брусники обыкновенной ex vitro с использованием современных стимуляторов роста / А.И. Чудецкий, С.С. Макаров // В сборнике: Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сборник материалов IX Международная научная конференция молодых ученых. Москва, 2021. С. 56–60.
8. Чудецкий А.И. Укоренение in vitro и адаптация к нестерильным условиям российских сортов брусники обыкновенной / А.И. Чудецкий, С.С. Макаров, С.А. Родин, И.Б. Кузнецова, Т.А. Макарова, Л.В. Зарубина // Лесохозяйственная информация. 2023. № 2. С. 102–114.
9. Чудецкий А.И. Адаптация сортового посадочного материала брусники обыкновенной к нестерильным условиям ex vitro для выращивания на нелесных землях / А.И. Чудецкий, С.А. Родин, Л.В. Зарубина, И.Б. Кузнецова // Лесохозяйственная информация. 2021. № 4. С. 106–113.
10. Колбанова Е.В. Клональное микро размножение смородины черной сорта Санюта / Е.В. Колбанова, Н.В. Кухарчик // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. Т. 26. С. 222–229.
11. Патент № 2806430 C1 Российская Федерация, МПК A01G 24/10, A01G 23/00, B09B 3/00. Способ применения цитрогипса в качестве грунта для выращивания растений: № 2023104644: заявл. 01.03.2023: опубл. 31.10.2023 / И.С. Никулин, В.К. Тохтарь, Л.А. Тохтарь [и др.]; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет».
12. Патент № 2819792 C1 Российская Федерация, МПК B09C 1/00, C05F 17/05. Способ восстановления техногенно-нарушенных урбанизированных земель: № 2023130587: заявл. 23.11.2023: опубл. 24.05.2024 / Е.А. Пендюрин; заявитель Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный институт искусств и культуры».
13. Тохтарь В.К., Тохтарь Л.А., Жиляева Н.В., Третьяков М.Ю. Оценка влияния различных составов органоминеральных удобрений на рост и развитие регенерантов Aronia mitschurinii A.K. Skvortsov & Maitul в процессе адаптации растений / Тохтарь В.К., Тохтарь Л.А., Жиляева Н.В., Третьяков М.Ю. // Передовое развитие современной науки: опыт, проблемы, прогнозы: сборник статей X Международной научно-практической конференции (12 января 2023 г.). — Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2023. С. 192–201.
14. Горбань А.Н. Динамика корреляций между физиологическими параметрами и экологоэволюционный принцип полифакторности / А.Н. Горбань, В.Т. Манчук, Е.В. Петушкова // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Л.: Гидрометеоздат., 1987, Т. 10, С. 187–198.
15. Борисова А.Г. Род Иссоп — *Hissopus* L. / А.Г. Борисова // Флора СССР. — М.-Л.: Наука, 1954. — Т. 21. — С.448–462.

© Тохтарь Людмила Анатольевна (ltokhtar@bsuedu.ru); Жиляева Наталья Васильевна (natali.zhilyaeva1979@mail.ru);
Черных Владислав Алексеевич (1249316@bsuedu.ru); Тохтарь Валерий Константинович (tokhtar@bsuedu.ru);
Третьяков Михаил Юрьевич (tretyakovmiy@gmail.com); Бирюков Денис Валерьевич (biryukov@bsuedu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.03

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРЫ ВОЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ БПЛА

THE USE OF MACHINE LEARNING TO ADAPT THE STRUCTURE OF MILITARY COMPUTING SYSTEMS IN UAV CONTROL TASKS

A. Vorganov
I. Kurdyumov
V. Prokhorov
G. Zhilin

Summary. This article discusses the application of machine learning to adapt the structure of military computing systems in the tasks of controlling unmanned aerial vehicles (UAVs). The rapid development of military technologies requires increasing flexibility and adaptability from computing systems, which makes traditional UAV control methods insufficiently effective. Machine learning offers solutions that can provide the high accuracy, responsiveness and adaptability that are critical to the successful execution of military operations. The implementation of such systems requires careful planning and consideration of many factors, but the results justify the efforts, providing significant improvements in the efficiency and reliability of UAV control.

Keywords: machine learning, unmanned aerial vehicles (UAVs), military computing systems, adaptability, UAV control.

Ворганов Александр Александрович
Начальник учебной части,
Российский технологический университет МИРЭА
Курдюмов Иван Алексеевич
Российский технологический университет МИРЭА
kurdyumov-2003@mail.ru
Прохоров Вадим Александрович
Российский технологический университет МИРЭА
Жилин Глеб Владимирович
Российский технологический университет МИРЭА

Аннотация. В данной статье рассматривается применение машинного обучения для адаптации структуры военных вычислительных систем в задачах управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Стремительное развитие военных технологий требует от вычислительных систем все большей гибкости и адаптивности, что делает традиционные методы управления БПЛА недостаточно эффективными. Машинное обучение предлагает решения, которые могут обеспечить высокую точность, оперативность и адаптивность, что критически важно для успешного выполнения военных операций. Внедрение таких систем требует тщательного планирования и учета множества факторов, но результаты оправдывают усилия, обеспечивая значительное улучшение эффективности и надежности управления БПЛА.

Ключевые слова: машинное обучение, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), военные вычислительные системы, адаптивность, управление БПЛА.

Введение

В современном мире военные технологии продолжают стремительно развиваться, что требует от вычислительных систем все большей гибкости и адаптивности. Одним из ключевых и быстроразвивающихся элементов современных военных операций являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые используются для разведки, наблюдения, целеуказания, ретрансляции связи, корректировки огня, боевых атак. Управление БПЛА требует высокой точности и оперативности, что делает их управление особенно сложным.

Целью нашего исследования является изучение и анализ внедрения в военные вычислительные системы машинного обучения, ведь на примере последних лет, можно заметить, что традиционные методы управления БПЛА часто оказываются недостаточно гибкими и адаптивными для быстро меняющихся условий боевых действий. В таких условиях необходимость в автоматическом и адаптивном управлении становится критически важной.

Машинное обучение, как одна из наиболее перспективных областей искусственного интеллекта, предлагает решения, которые могут значительно улучшить эффективность и надежность управления БПЛА.

Научная новизна исследования заключается в рассмотрении уже имеющихся методов машинного обучения, с целью адаптации систем управления беспилотными аппаратами в условиях современных военных конфликтов.

Актуальность темы исследования заключается в том, что использование машинного обучения позволяет создавать алгоритмы, способные адаптироваться к новым получаемым данным, что делает их идеальными для ис-

пользования в быстроменяющихся условиях. Адаптивные алгоритмы могут автоматически настраиваться под изменяющиеся задачи, обеспечивая высокую точность и оперативность управления БПЛА. Это особенно важно, когда время реакции и точность действий могут определять успех или провал военной операции.

1. Определение машинного обучения и его роль в управлении БПЛА

Машинное обучение представляет собой раздел искусственного интеллекта, который занимается разработкой алгоритмов и моделей, способных учиться на данных и принимать решения или делать прогнозы без необходимости явного программирования. В управлении беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) машинное обучение позволяет системам адаптироваться к новым условиям и задачам в режиме реального времени. Кроме того, оно помогает создавать адаптивные алгоритмы, которые могут автоматически изменять свои параметры в зависимости от новых данных, обеспечивая высокую точность и эффективность управления. Это особенно важно для военных операций, где скорость реакции и точность выполнения задач могут быть критическими для успеха миссии.

Для эффективного управления БПЛА анализировались различные алгоритмы машинного обучения с целью выявления наиболее подходящих для данной области. Рассмотрим несколько таких алгоритмов.

Градиентный бустинг — это мощный алгоритм машинного обучения, применяемый как для решения задач классификации, так и регрессии. Его суть заключается в создании ансамбля слабых моделей (чаще всего деревьев решений), которые последовательно улучшают друг друга, уменьшая ошибки предыдущих моделей.

Алгоритм работает следующим образом:

1. Изначально всем данным присваивается средний прогноз.
2. Вычисляются ошибки с использованием антиградиента функции потерь.
3. Строится регрессионное дерево и выполняется прогноз.
4. Новый прогноз добавляется к предыдущему, и процесс повторяется для каждого последующего дерева.
5. После завершения обучения всех деревьев делается итоговый прогноз.
6. Итоговая сумма всех прогнозов и является окончательным результатом.

Преимущества градиентного бустинга: высокая точность, хорошая работа с разнообразными данными, возможность создания различных модификаций на его основе. Недостатки: низкая скорость обучения на больших наборах данных, возможные проблемы с категориальными признаками, риск переобучения при недостаточной подготовке данных. Однако, эти недостатки были частично или полностью решены в некоторых модификациях алгоритма.

Рекуррентная нейронная сеть (RNN) — это модель, вдохновленная биологической нейронной сетью, состоящая из множества взаимосвязанных искусственных нейронов. Процесс обучения сети заключается в подборе весов нейронов таким образом, чтобы входные данные преобразовывались в требуемый выход. Одной из простейших моделей нейронных сетей является перцептрон. Он представляет собой математическую модель, имитирующую работу нейронных сетей мозга, состоящую из сенсоров, ассоциативных и реагирующих элементов.

Процесс работы перцептрона можно описать следующим образом:

1. Сенсоры получают сигналы, которые могут быть либо нулевыми (покой), либо единичными (состояние возбуждения).
2. Сигналы передаются ассоциативным элементам через связи с весами, которые могут принимать значения -1, 0 или 1. Если сумма сигналов на ассоциативном элементе превышает определённый порог, элемент генерирует сигнал, равный 1, иначе — нулевой.
3. Ассоциативные элементы передают сигналы сумматору, который складывает их и, при превышении порога, выдаёт выходной сигнал 1.
4. Если порог не превышен, выходной сигнал будет равен 0.

Преимущества нейронных сетей: они способны обобщать информацию, решать задачи при отсутствии явных закономерностей, устойчивы к шумам в данных, адаптируются к изменениям окружающей среды и могут демонстрировать высокую производительность. Недостатки: сложность процесса обучения, необходимость тщательной подготовки обучающей выборки, долгий процесс обучения, а также отсутствие гарантий логического поведения обученной сети.

2. Обзор текущих методов управления БПЛА

Метод управления на основе правил предполагает использование заранее определенных правил и сценариев для координации действий БПЛА. Эти правила могут включать условия для выполнения различных задач, таких как патрулирование, разведка или атака. К преимуществам можно отнести, что метод прост в реализации и не требует сложных вычислительных ресурсов, а также предсказуемость поведения БПЛА, что упрощает плани-

рование и координацию. Но предсказуемость является одновременно и минусом: метод не может эффективно адаптироваться к изменяющимся условиям и новым задачам. Также требуется постоянное обновление правил для учета новых сценариев и условий. Управление на основе правил может применяться в системах, где требуется высокая предсказуемость и простота реализации. Однако его ограниченная гибкость делает его менее подходящим для динамически изменяющихся условий.

Метод управления на основе моделей использует математические модели для прогнозирования поведения БПЛА и окружающей среды. Эти модели могут включать динамические уравнения, описывающие движение БПЛА и модели окружающей среды.

Метод основан на нескольких аспектах:

1. Разработка математической модели, которая учитывает физические характеристики ЛА, такие как масса, форма, аэродинамические силы и моменты.
2. Линейное и нелинейное моделирование. Линейные модели проще в анализе, но нелинейные лучше описывают реальное поведение.
3. Методы управления: используются различные алгоритмы управления, такие как PID-контроль, управление на основе состояния или адаптивное управление, которые опираются на разработанную модель.
4. Симуляция и тестирование: применяются компьютерные симуляции для тестирования разработанных алгоритмов управления в различных условиях, что позволяет выявить возможные проблемы до реальных полетов.

Преимущества метода: наибольшая точность прогнозирования поведения БПЛА, сводящая к минимуму возможности отклонения во время выполнения задачи и возможность учета динамики системы и внешних факторов, что повышает точность управления. К недостаткам относиться сложность реализации, требуются значительные вычислительные ресурсы и сложные математические модели, и все так же ограниченная адаптивность, но только в этом случае отклонение БПЛА практически невозможно. Управление на основе моделей обеспечивает высокую точность прогнозирования и учет динамики системы. Однако сложность и ограниченная адаптивность делают его менее подходящим для действий в реальном времени.

Метод управления на основе распределенных систем предполагает использование множества центров управления, которые координируют действия БПЛА. Метод обладает повышенной устойчивостью, он менее уязвим к сбоям и атакам, так как не зависит от единого центра управления, так же дает возможность независимой координации действий БПЛА. Но координация данным методом требует надежной и быстрой коммуникации между центрами управления для эффективной координации. Управление на основе распределенных систем является устойчивым и гибким, однако сложность координации и требование к надежной коммуникации делают его менее подходящим в непостоянных условиях конфликта.

Метод управления на основе машинного обучения использует машинные алгоритмы и модели для автоматизации процессов управления, планирования и адаптации системы управления под изменяющиеся условия и задачи. Эти алгоритмы могут включать методы обучения как с учителем, так и без него. Преимущества данного метода заключается в возможность автоматической адаптации системы под новые данные и условия быстроменяющийся обстановки, способности самостоятельно принимать решения в реальном времени и адаптации к новым задачам. Однако метод машинного обучения требует большого объема данных и пока что подвержен ошибкам и неопределенностям, особенно в условиях недостаточного объема данных. Управление на основе машинного обучения применяется там, где требуется высокая адаптивность и гибкость. Метод активно развивается и открывает перспективы дальнейший минимизации участия человека в прямой близости от столкновения.

3. Сравнение алгоритмов машинного обучения для адаптации структуры вычислительных систем

Метод градиентного бустинга представляет собой ансамблевый метод машинного обучения, который последовательно строит деревья решений, каждое из которых корректирует ошибки предыдущих деревьев. Этот метод особенно эффективен для задач регрессии и классификации, что делает его подходящим для адаптации структуры вычислительных систем в условиях быстро меняющихся задач и условий. Для разработки алгоритма градиентного бустинга необходимо собрать и подготовить данные, которые будут использоваться для обучения модели. Эти данные могут включать в себя параметры состояния БПЛА, такие как скорость, высота, угол наклона, данные сенсоров, такие как температура, влажность, видимость, а также информацию о внешних условиях, таких как погодные условия и наличие препятствий. После сбора и подготовки данных необходимо определить начальную модель, которая будет использоваться для предсказания поведения системы. В данном случае мы будем использовать простую линейную модель для начального предсказания. Эта модель будет использоваться для определения начальных ошибок, которые будут корректироваться последующими деревьями решений. Для построения деревьев решений используется алгоритм градиентного бустинга, такой как XGBoost

или LightGBM. LightGBM строит деревья по принципу: «На каждом шаге делим вершину с наилучшим скором», а основным критерием остановки выступает максимально допустимое количество вершин в дереве. Это приводит к тому, что деревья получаются несимметричными, то есть поддеревья могут иметь разную глубину — например, левое поддерево может иметь глубину 2, а правое может разрастись до глубины 15 (Рис. 1).

С одной стороны, это позволяет быстро подстроиться под обучающие данные. С другой — бесконтрольный рост дерева в глубину неизбежно ведет к переобучению, поэтому LightGBM позволяет помимо количества вершин ограничивать и максимальную глубину. Впрочем, это ограничение обычно все равно выше, чем для XGBoost. XGBoost строит деревья по принципу: «Строим дерево последовательно по уровням до достижения максимальной глубины». Отдельного ограничения на количество вершин нет, так как оно естественным образом получается из ограничения на глубину дерева. В XGBoost деревья «стремятся» быть симметричными по глубине, и в идеале получается полное бинарное дерево, если это не противоречит другим ограничениям (например, ограничению на минимальное количество объектов в листе) (Рис. 2). Такие деревья обычно являются более устойчивыми к переобучению.

Например, мы можем использовать XGBoost с параметрами: количество деревьев (n_estimators) = 100, максимальная глубина дерева (max_depth) = 6, и скорость обучения (learning_rate) = 0.1. Эти параметры могут быть настроены с помощью кросс-валидации для достижения оптимальной производительности.

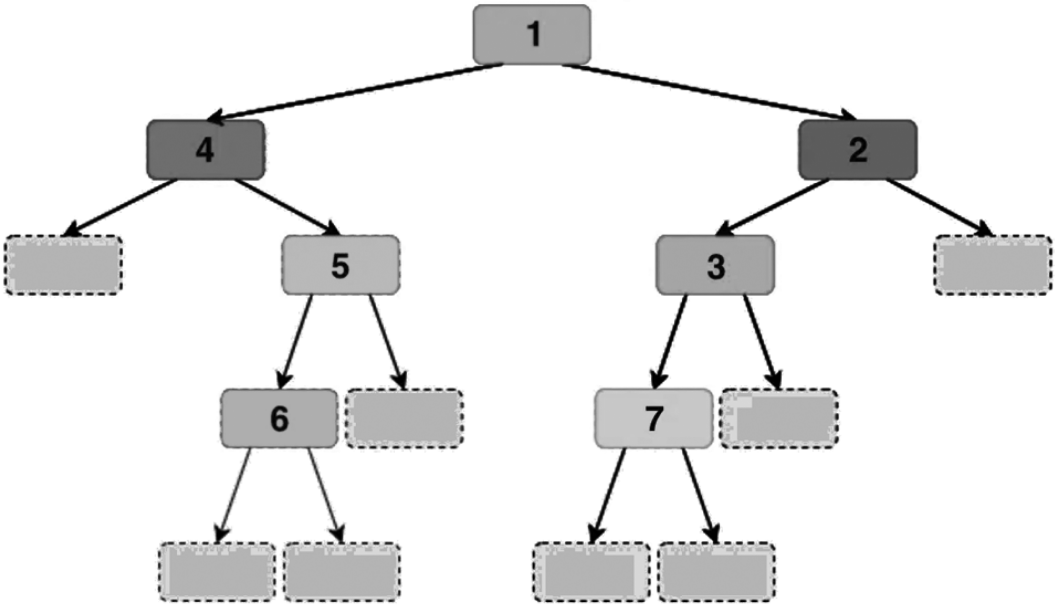


Рис. 1. Пример построения дерева при помощи LightGBM модели

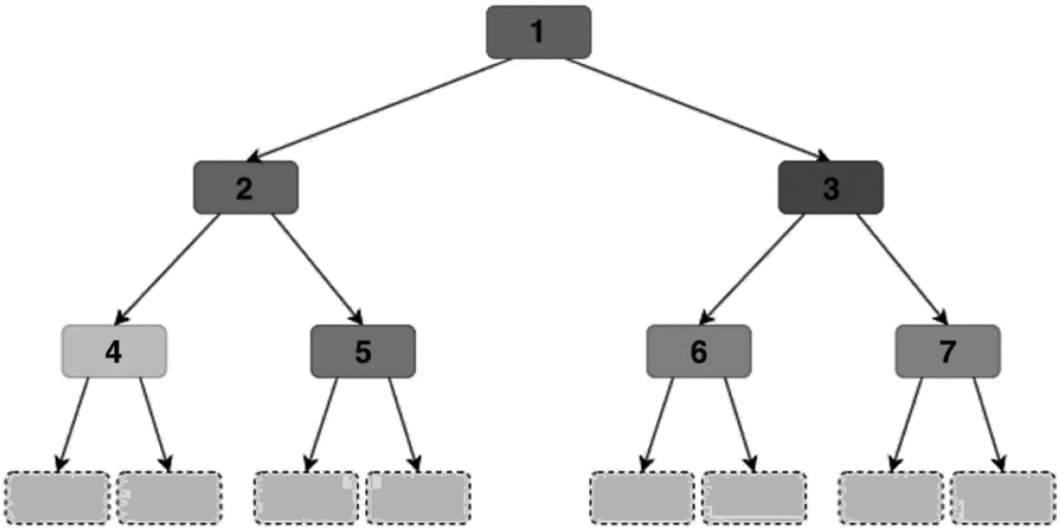


Рис. 2. Пример построения дерева при помощи XGBoost модели

Метод рекуррентных нейронных сетей (RNN) представляет собой модель машинного обучения, специально разработанную для обработки последовательных данных. RNN могут быть использованы для задач, связанных с временными рядами, таких как прогнозирование траекторий движения БПЛА и анализ временных данных сенсоров. Этот метод особенно эффективен для задач, требующих учета временной зависимости данных. Плюс рекуррентных нейронных сетей, или RNN, в том, что они обеспечивают последовательности с вариативными длинами как для входа, так и для вывода. Вот несколько примеров того, как может выглядеть рекуррентная нейронная сеть (Рис. 3).

Для разработки алгоритма RNN необходимо собрать и подготовить данные, которые будут использоваться для обучения модели (Рис. 4). Эти данные могут включать в себя временные ряды параметров состояния БПЛА, такие как скорость, высота, угол наклона, данные сенсоров, такие как температура, влажность, видимость, а также информацию о внешних условиях, таких как погодные условия и наличие препятствий.

После сбора и подготовки данных необходимо определить архитектуру нейронной сети, которая будет использоваться для предсказания поведения системы. В данном случае мы будем использовать архитектуру RNN с двумя скрытыми слоями, каждый из которых содержит 128 нейронов. Входной слой будет содержать 20 нейронов, соответствующих количеству признаков в данных. Выходной слой будет содержать один нейрон для задачи регрессии или несколько нейронов для задачи классификации. Для обучения нейронной сети используется алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation) с функцией потерь, такой как среднеквадратичная ошибка (MSE) для задачи регрессии или кросс-энтропия для задачи классификации. Обучение проводится с использованием оптимизатора, такого как Adam, с параметрами: скорость обучения (learning_rate) = 0.001, количество эпох (epochs) = 100, и размер батча (batch_size) = 32. Эти параметры могут быть настроены с помощью кросс-валидации для достижения оптимальной производительности.

Заключение

В ходе работы был проведен обширный анализ источниковой базы и сделаны выводы, что применение машинного обучения для адаптации структуры военных вычислительных систем в задачах управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) представляет собой значительный шаг вперед в области военных технологий. В условиях стремительного развития военных технологий и возрастающих требований к гибкости

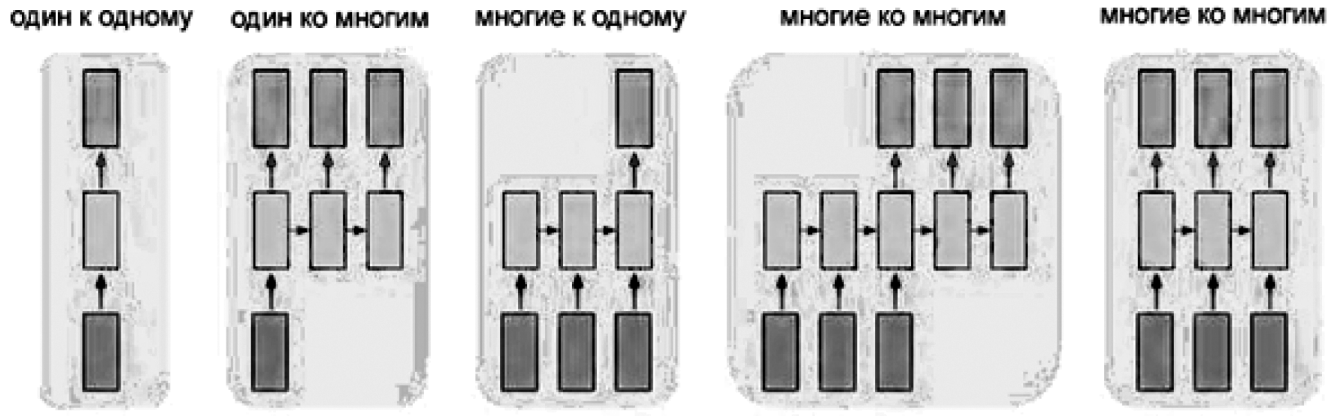


Рис. 3. Виды RNN

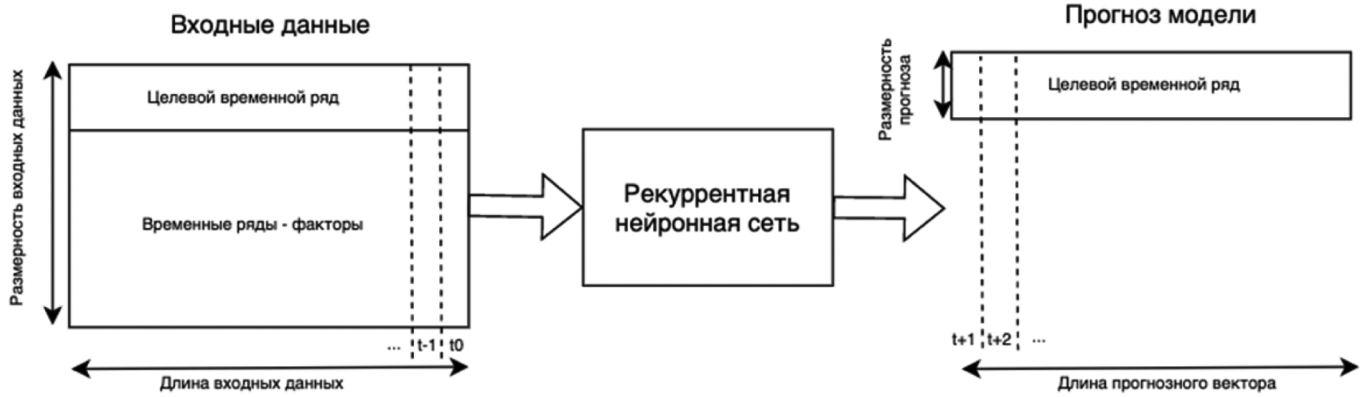


Рис. 4. Многомерная RNN модель

и адаптивности вычислительных систем, машинное обучение предлагает решения, которые значительно улучшают эффективность и надежность управления БПЛА.

Обзор текущих методов управления БПЛА показал, что традиционные методы, такие как управление на основе правил, моделей и распределенных систем, имеют свои преимущества и недостатки. Управление на основе правил просто в реализации, но ограничено в адаптивности, на основе моделей обеспечивает высокую точность, но сложно в реализации и ограничено в адаптивности, а управление на основе распределенных систем устойчиво, но требует надежной коммуникации. В свою очередь, управление на основе машинного обучения предлагает высокую адаптивность и гибкость, хотя и требует большого объема данных и подвержено ошибкам.

Анализ эффективности и надежности указывает на то, что алгоритмы машинного обучения значительно превосходят традиционные методы по точности предсказаний, времени реакции и способности адаптироваться к изменяющимся условиям. Надежность и устойчивость адаптивных систем также были подтверждены, благодаря способности ML-систем выявлять и компенсировать неисправности сенсоров и актюаторов, а также учитывать внешние воздействия, такие как погодные изменения или электронные помехи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Puente-Castro A. et al. A review of artificial intelligence applied to path planning in UAV swarms //Neural Computing and Applications. — 2022. — Т. 34. — №. 1. — С. 153–170.
2. Petrovski A., Radovanović M., Behlić A. Application of drones with artificial intelligence for military purposes //10th International Scientific Conference od Defensive Technologies–OTEH. — 2022. — Т. 2022. — С. 92–100.
3. Szabadföldi I. Artificial intelligence in military application–opportunities and challenges // Land Forces Academy Review. — 2021. — Т. 26. — №. 2. — С. 157–165.
4. Кутахов В.П., Мещеряков Р.В. Управление групповым поведением беспилотных летательных аппаратов: постановка задачи применения технологий искусственного интеллекта //Проблемы управления. — 2022. — №. 1. — С. 67–74.
5. Малинина Н.В. Управления БПЛА при помощи искусственного интеллекта //Инновации. Наука. Образование. — 2021. — №. 32. — С. 1408–1418.
6. Горохова С.С. Искусственный интеллект в контексте обеспечения национальной безопасности //Национальная безопасность/nota bene. — 2020. — №. 3. — С. 15–31.

© Ворганов Александр Александрович; Курдюмов Иван Алексеевич (kurdyumov-2003@mail.ru);
Прохоров Вадим Александрович; Жилин Глеб Владимирович
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.05

ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА БПЛА В РОССИИ

PROSPECTS OF AUTOMATED UAV PRODUCTION IN RUSSIA

D. Gaydukov
D. Piotrovsky

Summary. The automation of processes related to the production of unmanned aerial vehicles (UAVs) in Russia represents a key vector of industrial progress. This is driven by the increasing significance of UAV systems in areas such as remote monitoring, facility protection, and logistics management. According to forecasts, the UAV market is expected to grow from 10 to 81 billion rubles by 2028, reflecting the rising demand for this technology. However, to enhance the competitiveness of Russian industry, adaptation to emerging technological challenges is essential. The study focuses on analyzing the state of automation in UAV production and identifying factors hindering the successful integration of innovative solutions.

The research methodology relied on an analytical approach involving the review of scientific publications available in the Scopus, Web of Science, and ELibrary databases. Of the 316 identified publications, 17 were selected as most relevant to the topic. The analysis emphasized aspects of implementing additive manufacturing, digital twin technologies, industrial IoT solutions, and artificial intelligence systems.

The findings indicate that the primary challenges in automation in Russia are linked to the insufficient adaptation of modern technologies to existing infrastructure, substantial costs of implementation, a shortage of qualified specialists, and an underdeveloped regulatory framework. The recommendations proposed in this study include establishing national research consortia, supporting small and medium-sized enterprises, launching educational programs to prepare specialists, and improving regulatory frameworks for automation.

Building a competitive UAV industry in Russia is achievable by addressing barriers to automation. Implementing a comprehensive approach will enable domestic producers to meet both internal demand and international requirements for high-tech products.

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAVs), technologies, automation, artificial intelligence, equipment, innovations.

Гайдуков Даниил Владимирович
Аспирант,
МИРЭА — Российский Технологический университет
Gaydukovdeniel@yandex.ru
Пиотровский Дмитрий Леонидович
доктор технических наук, профессор,
МИРЭА — Российский Технологический университет
piotrovsky2005@yandex.ru

Аннотация. Автоматизация процессов, связанных с производством беспилотных летательных аппаратов в России, является ключевым вектором промышленного прогресса, что обусловлено применением беспилотных систем в таких областях, как мониторинг на удалении, обеспечение защиты объектов и управление логистическими потоками, стремительно набирает значимость. Рынок беспилотных летательных аппаратов, по прогнозам, увеличится с 10 до 81 миллиарда рублей к 2028 году, что отражает растущую потребность в данной технологии. Но для повышения конкурентных позиций российской промышленности требуется адаптация к новым технологическим вызовам. Основное внимание в работе уделено анализу состояния автоматизации в производстве беспилотных летательных аппаратов, а также выявлению факторов, которые препятствуют успешной интеграции инновационных решений.

В качестве методологической базы исследования применялся аналитический подход, предполагающий изучение научных публикаций, размещённых в базах Scopus, Web of Science и ELibrary. Из 316 найденных материалов были выбраны 17 наиболее соответствующих теме. Анализ фокусировался на аспектах внедрения аддитивных технологий, цифровых двойников, промышленных IoT-решений и систем искусственного интеллекта.

Результаты исследования указывают на то, что ключевые затруднения в автоматизации в России обусловлены недостаточной адаптацией современных технологий к существующей инфраструктуре, значительными затратами на их внедрение, дефицитом квалифицированных специалистов и слабой разработанностью нормативной базы. Предложенные в рамках работы рекомендации включают создание исследовательских консорциумов на национальном уровне, поддержку малых и средних предприятий, запуск образовательных программ для подготовки специалистов, а также совершенствование нормативного регулирования в сфере автоматизации. Формирование конкурентоспособной индустрии беспилотных летательных аппаратов в России возможно при условии устранения барьеров на пути автоматизации. Реализация комплексного подхода позволит отечественным производителям удовлетворить как внутренний спрос, так и международные требования к высокотехнологичной продукции.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), технологии, автоматизация, искусственный интеллект, оборудование, инновации.

Введение

Современная автоматизация производства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сталкивается с рядом проблем, главной из которых является недостаточная адаптация новых автоматизированных систем к существующим производственным структурам. Это противоречие между устоявшимися и инновационными подходами в производственных процессах затрудняет их совместное функционирование. При производстве БПЛА, где ключевую роль играют робототехнические комплексы и искусственный интеллект, требования к оборудованию становятся особенно высокими [1, с. 45].

Экономическая сторона автоматизации также представляет собой значительный вызов: высокая стоимость модернизации часто оказывается несоразмерной с ожидаемой отдачей, что снижает привлекательность подобных инвестиций. Инвесторы, сомневаясь в экономической эффективности, отказываются от проектов, где окупаемость вложений остается неопределенной. Автоматизация требует значительных финансовых ресурсов, включая затраты на обслуживание сложных систем и обучение специалистов. Необходимость регулярной поддержки аппаратного и программного обеспечения усугубляется для российских предприятий ограничениями в поставках и действующими санкционными мерами. Правовое регулирование в области автоматизации производства БПЛА находится на стадии формирования и пока не охватывает множество реальных сценариев, с которыми сталкиваются компании. Это порождает пробелы в законодательстве, особенно в вопросах распределения ответственности за ошибки автоматизированных систем, управляемых искусственным интеллектом (ИИ).

Ограниченные ресурсы, доступные для модернизации российских производственных мощностей, значительно замедляют развитие автоматизированного сектора производства БПЛА. На данный момент объём российского рынка коммерческих беспилотных систем оценивается в 10 миллиардов рублей, однако к 2028 году прогнозируется его увеличение до более чем 81 миллиарда рублей. Основными сферами применения беспилотных технологий являются удалённый мониторинг (42 % всех проектов), охрана и защита объектов (38 %), а также выполнение логистических операций (10 %). Прогнозируемый основной прирост рынка приходится на 2025–2026 годы, что обусловлено реализацией ранее отсроченного спроса, активизацией инвестиций в инфраструктурные проекты и наращиванием производственных мощностей [2].

Целью исследования является анализ текущего состояния автоматизации производства БПЛА в России, выявление ключевых технологических, и иных барьеров, ограничивающих развитие отрасли.

Методы исследования

В процессе исследования применялся аналитический подход, опирающийся на изучение научных публикаций. Для анализа использовались материалы из баз данных Scopus, Web of Science и ELibrary. Литературный поиск осуществлялся с использованием ключевых запросов: «автоматизация производства», «БПЛА», «аддитивные технологии», «цифровые двойники», «промышленные IoT», «искусственный интеллект», «автоматизация в России». В результате было обнаружено 316 публикаций, из которых отобраны 17 наиболее значимых на основании следующих критериев: наличие сведений о внедрении современных технологий автоматизации, освещение как российского, так и зарубежного опыта, а также анализ экономических и нормативно-правовых аспектов.

Современные технологии автоматизации производства БПЛА: достижения и ограничения

Современные аддитивные технологии, в сочетании с промышленными IoT-решениями и концепцией цифровых двойников, наряду с ИИ, не просто модернизируют производственные подходы, но и создают уникальные технические вызовы. Эти технологии ускоряют создание сложных деталей, позволяя отказаться от ограничений традиционного производства. Возможность проектировать сложные внутренние структуры и геометрии дает более легкие и прочные элементы, что особенно актуально для беспилотных систем, где снижение массы существенно повышает дальность полета и снижает энергопотребление. Ключевую роль в этом процессе играет интеграция с системами ИИ, которые совершенствуют параметры печати и сокращают расходы на использование редких и дорогостоящих материалов [3]. ИИ активно используется в предиктивных алгоритмах и адаптивных моделях, которые обеспечивают динамическую настройку параметров роботизированного оборудования. Данные для таких систем поступают от датчиков промышленного интернета вещей, фиксирующих широкий спектр характеристик — от температуры до вибраций и структурных изменений. Эти датчики становятся связующим звеном между физическим производством и цифровыми моделями, создавая цифровой двойник каждого элемента [4]. Такой подход позволяет не только выявлять потенциальные отклонения, но и оптимизировать производственные процессы в реальном времени, обеспечивая гармоничное взаимодействие виртуальных моделей и физической среды. Цифровые двойники, являясь виртуальными моделями физических объектов, позволяют проводить тесты на прочность и устойчивость к внешним факторам ещё до начала сборочных процессов. Благодаря этому вероятность возникновения дефектов существенно уменьшается: возможные отклонения выявляются на этапе моделирования, а оптимальные корректирующие меры разрабатываются за-

ранее. Использование таких симуляций исключает необходимость изготовления дополнительных прототипов, что сокращает ресурсные затраты, упрощает техническое обслуживание и делает управление сложными системами более предсказуемым. Внедрение технологий промышленного интернета вещей (IIoT) обеспечивает не только сбор данных, но и их непрерывный анализ в рамках производственного цикла БПЛА [5]. Это способствует оптимизации энерго- и материальных ресурсов, а также повышению эффективности каждой линии. При десятках параметров, контролируемых на каждом этапе производства, IIoT формирует интегрированную сеть мониторинга, подобную «нервной системе», где каждое действие и компонент находятся под постоянным наблюдением. Такие системы моментально реагируют на любые изменения — например, перегрев оборудования или нестабильность в подаче электроэнергии. Использование ИИ в сочетании с IoT-данными обеспечивает динамическое управление производственными процессами, позволяя оперативно оптимизировать параметры работы [6, с. 270]. Это не только сокращает простои и минимизирует износ оборудования, но и поддерживает стабильность производственного цикла на высоком уровне.

Инновационные технологии создают платформу для саморегулируемого производства, где участие человека в сборке БПЛА сведено к минимуму. Все этапы процесса интегрированы и функционируют в полной синхронизации, достигая микросекундной точности. Такой подход, базирующийся на высокой предсказуемости и минимальных отклонениях, задает новый стандарт промышленного производства. Каждый элемент — от отдельных компонентов и производственных линий до роботизированных комплексов — становится частью адаптивной умной инфраструктуры, которая не только реагирует на изменения, но и предугадывает их. На фоне стремительного роста автоматизации и роботизации каждая страна, активно занимающаяся разработкой БПЛА, формирует уникальный путь к модернизации. Уровень внедренной автоматизации, используемые технологические решения и примеры их реализации зависят от национальных стратегий, доступных ресурсов и потенциала ведущих производителей. Чтобы детально проанализировать текущее состояние и выявить ключевые тенденции, представлена таблица, отражающая особенности технологического оснащения, степень автоматизации и перспективы развития ключевых участников рынка (таблица 1).

В различных странах, включая США, Китай, Израиль, Россию и Турцию, уровень автоматизации в производстве беспилотных летательных аппаратов демонстрирует значительные различия. США и Китай занимают лидирующие позиции, внедряя передовые технологии, такие как роботизированные линии сборки, искусственный интеллект и цифровые двойники, что обеспечивает высокую производительность и эффективность процессов. Израиль и Турция ограничиваются частичной автоматизацией, сосредотачиваясь на прецизионных технологиях и инновационных подходах. В России, где по-прежнему преобладает ручная сборка, только намечаются инициативы по увеличению уровня автоматизации для укрепления позиций на мировом рынке [7, с. 349; 8; 9, с. 410; 10, с. 1064; 11, с. 5].

Таблица 1.

Сравнительный анализ состояния автоматизации производства БПЛА в ведущих странах

Страна	Уровень автоматизации производства	Применяемые технологии	Примеры автоматизации	Особенности производства и перспективы
США	Высокий	Роботизированные сборочные линии, аддитивные технологии, цифровые двойники	Использование роботизированных систем для сборки и тестирования компонентов БПЛА	Активное внедрение передовых технологий в производство
Китай	Высокий	Автоматизированные сборочные линии, искусственный интеллект, промышленный интернет вещей (IIoT)	Применение автоматизированных систем для массового производства коммерческих и военных БПЛА	Быстрое наращивание производственных мощностей
Израиль	Средний	Частичная автоматизация, использование роботизированных систем в ключевых этапах производства	Автоматизация сборки и тестирования отдельных компонентов БПЛА	Фокус на высокоточном производстве и инновациях
Россия	Низкий	Ограниченная автоматизация, преимущественно ручная сборка	Начальные этапы внедрения автоматизированных систем в производство	Планируется увеличение уровня автоматизации в ближайшие годы
Турция	Средний	Частичная автоматизация, использование современных производственных технологий	Автоматизация сборки и тестирования ключевых компонентов БПЛА	Быстрое развитие отрасли и увеличение производственных мощностей

Сопоставление затрат на производство БПЛА с применением ручного труда и автоматизированных технологий выявляет множество экономических противоречий. Ручной труд, несмотря на меньшие стартовые вложения, сопровождается высокими операционными расходами, напрямую связанными с человеческим фактором. К этим издержкам относятся затраты на оплату труда, обучение сотрудников, обеспечение стандартов безопасности и исправление ошибок, что особенно обременительно при наращивании объемов выпуска. Более того, ручное производство увеличивает риск вариативности качества продукции: необходимость последующей обработки из-за дефектов значительно повышает итоговые затраты. В то же время автоматизация обещает заметное снижение переменных расходов после преодоления существенного начального порога инвестиций. Однако стоимость установки автоматизированных линий, приобретения специализированного программного обеспечения, интеграции с производственными системами и обеспечения контроля представляет собой значительный барьер. Дополнительные затраты на обслуживание нового оборудования лишь усиливают финансовую нагрузку. Несмотря на очевидные преимущества автоматизированного производства, его окупаемость может быть отложена на длительный срок. Это связано с необходимостью компенсировать значительные капитальные вложения и покрывать амортизационные расходы [12]. Таким образом, переход к автоматизации требует не только финансовой устойчивости, но и продуманного подхода, чтобы обеспечить баланс между долгосрочной экономической эффективностью и значительными стартовыми затратами.

Рентабельность инвестиций в автоматизацию производства варьируется в зависимости от масштабов выпуска продукции, применяемых технологических решений и характеристик оборудования. Так, при малых объемах производства автоматизация нередко оказывается экономически нецелесообразной: издержки на закупку и обслуживание оборудования могут не покрываться за счет снижения переменных затрат. Исследования последних лет демонстрируют, что для предприятий с производственными объемами в пределах нескольких тысяч единиц более оптимальным решением является частичная автоматизация. Этот подход, сохраняющий элементы ручного труда на отдельных стадиях, обеспечивает снижение капитальных затрат, а также позволяет сохранить гибкость процессов. С другой стороны, при крупносерийном производстве, где особенно важны стабильность и неизменное качество продукции, полная автоматизация становится экономически оправданной. Она способствует снижению себестоимости единицы продукции до минимальных значений, особенно при использовании систем предиктивного обслуживания, которые предотвращают неожиданные простои оборудования. В таких условиях сроки окупаемости инвестиций зависят от рыночной стоимости продукции и уровня спроса. При благоприятной рыночной конъюнктуре точка безубыточности может быть достигнута уже через два года с момента ввода автоматизированных линий в эксплуатацию [13, с. 864].

Переход на использование автоматизированных линий в производстве БПЛА кардинально меняет организацию труда: задачи, ранее выполняемые вручную, уступают место управлению сложными высокотехнологичными процессами. Заводы, оснащенные современными роботизированными системами, значительно снижают потребность в физическом труде, но одновременно требуют привлечения высококвалифицированных специалистов для настройки и обслуживания оборудования. В результате функции работников смещаются от выполнения рутинных операций к обеспечению технической поддержки, анализа данных и управления сложными системами. Эти изменения диктуют необходимость не просто переквалификации, а создания специализированных образовательных программ. Технические специалисты должны не только разбираться в принципах работы автоматизированных комплексов, но и владеть инструментами аналитики, программного обеспечения и мониторинга, позволяющими поддерживать бесперебойность работы [14]. Знания в области IoT-технологий, основ программирования и использования сенсорных систем становятся обязательными, так как они позволяют оперативно выявлять и устранять сбои на всех этапах производственного цикла. Автоматизация одновременно сокращает потребность в неквалифицированном труде и усиливает спрос на кадры с высоким уровнем технической подготовки. Это требует системного подхода к переподготовке: от развития навыков управления интегрированными процессами до способности контролировать сложные алгоритмы. Задача специалиста больше не сводится к выполнению отдельных операций, а заключается в обеспечении стабильного функционирования всей автоматизированной инфраструктуры. Такой переход формирует новое понимание роли человека в производственном процессе, подчеркивая важность технической грамотности и системного подхода. В этом контексте развитие специализированных образовательных программ в университетах и колледжах становится стратегически важным. Такие программы должны быть ориентированы на подготовку кадров, способных работать с промышленной робототехникой и аналитическими платформами, что обеспечит устойчивость и эффективность производства при частичной или полной автоматизации. Интеграция этих подходов в систему образования позволит создать компетентную кадровую основу, необходимую для поддержки высокотехнологичных производственных процессов [15].

Нормативные и стандартные требования, регулирующие производство БПЛА, охватывают критически

важные области, включая безопасность, управляемость и взаимодействие с воздушным пространством. Для российских производителей приоритетным становится соответствие международным стандартам, таким как ISO и AS9100, которые адаптированы для специфики аэрокосмической индустрии. Эти стандарты акцентируют внимание на строгом обеспечении качества и надежности, что является ключевым условием в условиях жесткой международной конкуренции. Интеграция подобных стандартов позволяет гарантировать эксплуатационную устойчивость и соответствие техническим требованиям мирового уровня. Стандарты ISO 9001 и авиационно-ориентированный AS9100 предписывают внедрение комплексных систем управления качеством, охватывающих полный цикл производства — от проектирования и сборки до тестирования и поставки готовой продукции. Подобные системы минимизируют риск брака и непредвиденных отказов, одновременно обеспечивая механизм обратной связи для корректировки обнаруженных недостатков. Это особенно важно для беспилотников, предназначенных для эксплуатации в экстремальных или нестабильных условиях. Дополнительно для БПЛА, используемых в гражданских и логистических задачах, критической становится информационная защита, обеспечиваемая стандартом ISO/IEC 27001. Данный стандарт регламентирует безопасность автоматизированных систем управления и связи, что крайне важно в свете растущей уязвимости кибератак. Отдельно следует упомянуть стандарты ASTM и RTCA DO-178, регулирующие программное обеспечение и встроенные системы, используемые для БПЛА. Российские производители, ориентирующиеся на сертификацию своих аппаратов для международного использования, обязаны учитывать эти стандарты, так как программные компоненты оказываются особенно уязвимыми при нарушении алгоритмов, управляющих полетом [16]. Стандарты уровня DO-178C устанавливают уровни критичности программного обеспечения, нацеленного на полетные задачи, и требуют формализации всех этапов разработки и тестирования кода, что делает работу программного обеспечения предсказуемой и безопасной. Эти требования остаются обязательными для крупных производителей, стремящихся к выходу на международные рынки, где сертификация программного обеспечения становится необходимым шагом к легальному использованию аппаратов. Стандарт ISO 31000 по управлению рисками создает условия для системного подхода к минимизации рисков на всех стадиях работы, что становится необходимым для БПЛА с автоматическими функциями. Риски, связанные с функциональными и техническими отказами, влекут за собой не только экономические потери, но и вопросы безопасности, что требует оценки всех аспектов производственной цепочки. Стандарты в области экологической безопасности ISO 14001 становятся еще одной важной частью, особенно в контексте роста производственных мощностей и адаптации технологий утилизации, применяемых к расходным материалам и батареям БПЛА. В последние годы компании начинают внедрять замкнутые циклы производства, позволяющие минимизировать воздействие на окружающую среду, где требования по утилизации и переработке батарей и полимерных материалов требуют пересмотра подходов к их производству. На фоне тенденции к устойчивому производству, стандарты, включающие критерии минимизации отходов и энергоэффективности, становятся важными факторами при выборе партнера для международных сделок. Стандарты ASTM и RTCA DO-178 играют решающую роль в регулировании программного обеспечения и встроенных систем, применяемых в авионике беспилотных летательных аппаратов. Для российских производителей, ориентированных на выход на международные рынки, соответствие этим требованиям является неотъемлемой частью процесса сертификации продукции. Программные компоненты, управляющие полетами, особенно подвержены рискам, связанным с алгоритмическими сбоями. В этой связи стандарты DO-178C устанавливают строгие уровни критичности для полетного ПО, а также детально регламентируют этапы его разработки и тестирования. Такая структура позволяет гарантировать предсказуемость функционирования систем и обеспечивает безопасность их эксплуатации. Сертификация ПО, следовательно, становится важнейшим этапом для легализации использования аппаратов за рубежом. В дополнение к этому стандарт ISO 31000 формирует основу для системного подхода к управлению рисками, что особенно актуально для беспилотников с автоматизированными функциями. Потенциальные технические или функциональные отказы могут привести не только к финансовым потерям, но и к угрозам безопасности, что делает внедрение этих принципов обязательным. Такой подход позволяет минимизировать риски на всех этапах производственного цикла, от проектирования до эксплуатации. С другой стороны, стандарты экологической безопасности ISO 14001 обретают особую значимость на фоне роста производственных мощностей и необходимости утилизации материалов. Переход к замкнутым циклам производства, предполагающий минимизацию воздействия на окружающую среду, становится основой для устойчивого развития отрасли. Важнейшими аспектами остаются переработка батарей и полимерных компонентов, что требует внедрения новых технологий утилизации. В условиях глобального перехода к экологически чистым методам производства соблюдение стандартов, направленных на энергоэффективность и снижение объема отходов, становится ключевым фактором в формировании партнерских отношений и укреплении конкурентных позиций на мировом рынке.

Заключение

Для успешного внедрения автоматизации в производстве БПЛА необходимо сосредоточиться на создании

условий, устраняющих технологические и финансовые ограничения. Одним из ключевых шагов может стать организация национальных исследовательских консорциумов, которые займутся разработкой специализированных робототехнических и программных решений с учетом специфики отрасли. Такие консорциумы объединят усилия научных институтов и предприятий, что упростит адаптацию инноваций и ускорит их внедрение в практическую плоскость. Параллельно необходимо поддерживать малый и средний бизнес, который активно участвует в создании компонентов и автоматизированных систем. Это позволит снизить их зависимость от крупных корпораций и повысить инновационный потенциал небольших предприятий, что важно для разностороннего роста всей индустрии.

Для обеспечения успешной интеграции технологий ИИ и машинного обучения в автоматизированное производство БПЛА необходимо системное стимулирование и устранение существующих барьеров. Одним из ключевых направлений может стать организация государственных фондов поддержки, ориентированных на субсидирование внедрения ИИ в малых и средних предприятиях. Эти компании, традиционно испытывающие трудности с техническим оснащением, могли бы использовать целевые гранты или льготное финансирование для развертывания систем анализа данных в реальном времени. Такие технологии значительно повышают точность и оперативность работы автоматизированных производственных линий, одновременно способствуя разработке диагностических решений с высокой степенью автоматизации. Правовое регулирование также требует существенной доработки. Текущие законодательные нормы не всегда позволяют эффективно интегрировать инновационные технологии, что создает излишнюю административную нагрузку, особенно для предприятий малого бизнеса. Упрощение процедур сертификации и эксплуатационных стандартов для высокоавтоматизированного оборудования может ускорить переход к новым технологиям, снизив издержки, связанные с разрешительными процессами. Кроме того, вопросы защиты данных, поступающих с промышленных датчиков и других устройств, требуют особого внимания. Надежная система регулирования в области кибербезопасности необходима для предотвращения утечек информации и обеспечения конфиденциальности, что является ключевым элементом при работе с автоматизированными системам

Организация централизованных площадок, предназначенных для тестирования и отработки технологий в области автоматизации производства БПЛА, представляет собой важный шаг для развития отрасли. Такие испытательные полигоны позволят предприятиям избежать значительных расходов на создание собственных экспериментальных баз, что существенно снизит затраты на внедрение новых технологий. Дополнительно это обеспечит возможность предварительной оценки и доработки решений без необходимости разворачивания полномасштабных пилотных проектов. Поддержка автоматизации производства беспилотных летательных аппаратов должна стать интегральной частью национальной стратегии технологического прогресса. Она должна быть нацелена на формирование инновационного и конкурентоспособного промышленного сектора. Преодоление правовых и финансовых барьеров, продвижение передовых технологий и оказание поддержки малым и средним предприятиям позволят российским производителям не только успешно отвечать на текущие вызовы, но и занять лидирующие позиции на международном рынке высокотехнологичной продукции

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярощук А.Б., Рагулина Ю.В., Тебекин А.В. Управление развитием системы производства и использования БПЛА в интересах укрепления экономической и национальной безопасности России // Журнал исследований по управлению. — 2023. — Т. 9, № 4. — С. 42–61. — EDN LHMCIV.
2. Беспилотные летательные аппараты [Электронный ресурс] / ОАО «Ростелеком». — URL: https://rt-static.rt.ru/sites/default/files/b2b/docs/bpla.pdf (дата обращения: 02.11.2024).
3. Visconti P., Rausa G., Del-Valle-Soto C., Velázquez R., Cafagna D., De Fazio R. Machine Learning, and IoT-Based Solutions in Industrial Applications for Smart Manufacturing: A Critical Review // Future Internet. — 2024. — Vol. 16, No. 11. — Article 394. — https://doi.org/10.3390/fi16110394.
4. Chigilipalli B.K., Karri T., Chetti S.N., Bhiogade G., Kottala R.K., Cheepu M. A Review on Recent Trends and Applications of IoT in Additive Manufacturing. Appl. Syst. Innov. 2023, 6, 50. https://doi.org/10.3390/asi6020050.
5. Sun Y., Fesenko H., Kharchenko V., Zhong L., Kliushnikov I., Illiashenko O., Morozova O., Sachenko A. UAV, and IoT-Based Systems for the Monitoring of Industrial Facilities Using Digital Twins: Methodology, Reliability Models, and Application // Sensors (Basel). — 2022. — Vol. 22, No. 17. — Article 6444. — https://doi.org/10.3390/s22176444.
6. Rouf S., Malik A., Singh N., Raina A., Naveed N., Siddiqui Md. I. H., Haq M. I. U. Additive Manufacturing Technologies: Industrial and Medical Applications // Sustainable Operations and Computers. — 2022. — Vol. 3. — P. 258–274. — https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.001.
7. Gupta A., Afrin T., Scully E., Yodo N. Advances of UAVs toward Future Transportation: The State-of-the-Art, Challenges, and Opportunities // Future Transportation. — 2021. — Vol. 1, No. 2. — P. 326–350. — https://doi.org/10.3390/futuretransp1020019.
8. Wang L., Huang X., Li W., Yan K., Han Y., Zhang Y., Pawlowski L., Lan Y. Progress in Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Applied in China and Prospects for Poland // Agriculture. — 2022. — Vol. 12, No. 3. — Article 397. — https://doi.org/10.3390/agriculture12030397.

9. Borg S. Assembling Israeli Drone Warfare: Loitering Surveillance and Operational Sustainability // Security Dialogue. — 2021. — Vol. 52, No. 5. — P. 401–417. — https://doi.org/10.1177/0967010620956796.
10. Сундарева В.Ю. Анализ и перспективы развития рынка производства БПЛА // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. — Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2023. — С. 1063–1065. — EDN PHJVPW.
11. Yildirim A.S., Berker E., Kayakesen M.E. System Level Test Automation in UAV Development // 2018 IEEE AUTOTESTCON. — 2018. — P. 1–6. — https://doi.org/10.1109/AUTEST.2018.8532551.
12. Tsiamis N., Efthymiou L., Tsagarakis K.P. A Conceptual Framework for Economic Analysis of Different Law Enforcement Drones // Machines. — 2023. — Vol. 11, No. 11. — Article 983. — https://doi.org/10.3390/machines11110983.
13. Рагозин А.А., Сычева Е.М. Исследования инвестиционных возможностей проекта организации производства БПЛА // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов X Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию академика М.Ф. Решетнева и Дню космонавтики. — Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2024. — С. 863–865. — EDN YWUSTX.
14. Mohsan S.A.H., Khan M.A., Noor F., Ullah I., Alsharif M.H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review // Drones. — 2022. — Vol. 6, No. 6. — Article 147. — https://doi.org/10.3390/drones6060147.
15. Nwaogu J.M., Yang Y., Chan A.P.C., Wang X. Enhancing Drone Operator Competency within the Construction Industry: Assessing Training Needs and Roadmap for Skill Development // Buildings. — 2024. — Vol. 14, No. 4. — Article 1153. — https://doi.org/10.3390/buildings14041153.
16. Telli K., Kraa O., Himeur Y., Ouamane A., Boumehraz M., Atalla S., Mansoor W.A Comprehensive Review of Recent Research Trends on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) // Systems. — 2023. — Vol. 11, No. 8. — Article 400. — https://doi.org/10.3390/systems11080400.
17. Panagiotopoulos I., Sakellariou L., Hatziefremidis A. Design Construction, and Flight Performance of an Electrically Operated Fixed-Wing UAV // Drones. — 2024. — Vol. 8, No. 6. — Article 217. — https://doi.org/10.3390/drones8060217.

© Гайдуков Даниил Владимирович (Gaydukovdeniel@yandex.ru); Пиотровский Дмитрий Леонидович (piotrovsky2005@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.06

РОБОТИЗИРОВАННОЕ ОБУЧЕНИЕ НА ОСНОВЕ Q-LEARNING И ANN С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕМОНСТРАЦИЙ (ADQN)

ROBOTIC LEARNING BASED ON Q-LEARNING AND ANN USING DEMONSTRATIONS (ADQN)

Gao Tianci
Bo Yang
Shengren Rao

Summary. In the field of robotic systems training, the classical approach based on pure Q-Learning requires a large volume of trial-and-error interactions. This not only reduces efficiency but can also be unsafe when working with real robots. In this paper, we propose an ADQN (Augmented Deep Q-Network) method that combines Q-Learning, an artificial neural network (ANN), and demonstration data. In the first phase, the Q-network is trained offline on expert trajectories. Then, during the online phase, TD updates and Margin-based supervision on demonstration actions are used simultaneously. This approach accelerates the convergence of the algorithm and increases overall success rates. We compare ADQN with two baseline methods: (1) pure DQN (no demonstrations) and (2) pure imitation (ANN). Experiments in the MATLAB/Simulink environment and on a real Kinova Gen3 robot show that ADQN achieves higher performance and reaches target results faster. We also analyze the impact of prioritized replay and various modules of the algorithm. The results confirm that the proposed approach effectively combines the advantages of reinforcement learning and demonstration-based training.

Keywords: reinforcement learning, Q-Learning, artificial neural networks, learning from demonstrations, robotic manipulator.

Гао Тяньцы
аспирант, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
Gaotianci0088@gmail.com
Бо Ян
аспирант, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
yangbo.123@hotmail.com
Шэнжэнь Жао
аспирант, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
raoshengren@gmail.com

Аннотация. В области обучения робототехнических систем классический подход на основе чистого Q-обучения (Q-Learning) требует больших объёмов проб и ошибок, что снижает эффективность и может быть небезопасно при работе с реальными роботами. В данной работе предлагается метод ADQN (Augmented Deep Q-Network), совмещающий Q-Learning, искусственную нейронную сеть (ANN) и данные демонстраций. На первом этапе Q-сеть обучается офлайн на экспертных траекториях, затем в ходе онлайн-фазы одновременно используются TD-обновления и Margin-супервизия по демонстрационным действиям. Такая схема ускоряет сходимость алгоритма и повышает итоговую успешность. Мы сравниваем ADQN с двумя базовыми методами: (1) чистым DQN (без демонстраций) и (2) чистой имитацией (ANN). Эксперименты в среде MATLAB/Simulink и на реальном роботе Kinova Gen3 показывают, что ADQN достигает более высоких показателей и быстрее выходит на целевые результаты. Дополнительно проанализировано влияние приоритетного реплея и различных модулей алгоритма. Результаты подтверждают, что рассматриваемый подход эффективно совмещает преимущества обучения с подкреплением и демонстраций.

Ключевые слова: обучение с подкреплением, Q-Learning, искусственные нейронные сети, обучение по демонстрациям, робот-манипулятор.

Введение

Роботизированные системы становятся всё более автономными благодаря методам обучения с подкреплением (Reinforcement Learning, RL) [1]. Однако в классических методах, например Deep Q-Network (DQN) [2], требуется большое число шагов случайного исследования, что зачастую неприемлемо при работе с реальными роботами (риск повреждений, большая продолжительность экспериментов и т. д.).

Одно из возможных решений — обучение по демонстрациям (Learning from Demonstration, LfD) [3, 4]. Суть метода состоит в том, чтобы показать агенту предпочитаемые экспертом действия в ряде типичных сценариев. Тем не менее, простая имитация (без учёта вознаграждения) не даёт улучшения сверх действий эксперта [5]. Поэтому целесообразно совмещать имитацию и RL-обучение.

В данной работе мы предлагаем метод ADQN (Augmented Deep Q-Network), в котором:

1. На первом этапе выполняется офлайн-обучение (предобучение) Q-сети на ограниченном наборе экспертных переходов.
2. На втором этапе (онлайн) одновременно применяются TD-обновления (Q-Learning) и Margin-супервизия для демонстрационных данных.
3. Используется приоритетный реплей, в котором примерам из демонстраций назначается повы-

шенный приоритет. Это ускоряет начальную фазу обучения и предотвращает «забывание» экспертных действий.

Мы исследуем эффективность ADQN на задачах позиционирования конечного звена робот-манипулятора (6 DoF), реализованных в MATLAB/Simulink, а также проводим контрольные эксперименты на реальном роботе Kinova Gen3. Сравнение с DQN (без демонстраций) и чистой имитацией (ANN) показывает, что ADQN достигает более высоких результатов и быстрее сходится.

Теоретические основы

1. *Q-Learning и DQN*

Пусть задача задана Марковским процессом принятия решений с состояниями *s*, действиями *a*, функцией вознаграждения $R(s,a)$ и фактором дисконтирования $\gamma \in [0,1)$. Оптимальная Q-функция $Q^*(s,a)$ удовлетворяет уравнению Беллмана:

$$Q^*(s,a) = R(s,a) + \gamma \sum_s P(s'|s,a) \max_a Q^*(s',a') \quad (1)$$

Классический алгоритм Q-Learning итеративно обновляет оценку *Q*-функции по формуле:

$$Q(s,a) \leftarrow Q(s,a) + \alpha\left[r + \gamma \max_a Q(s',a') - Q(s,a)\right] \quad (2)$$

где α — скорость обучения, *r* — мгновенная награда, *s* — следующее состояние. Для высокоразмерных задач используют нейронную аппроксимацию $Q(s,a;\theta)$ (DQN), где минимизируется TD-потеря:

$$L_{\text{DQN}}(\theta) = \mathrm{E}_{(s,a,r,s')}\left[\left(y_{\text{target}} - Q(s,a;\theta)\right)^2\right] \quad (3)$$

$$y_{\text{target}} = r + \gamma \max_a Q(s',a';\theta^-) \quad (4)$$

Параметры θ^- – (целевой сети) обновляются реже для стабилизации обучения. Мини-батчи для обучения выбираются из реплей-буфера.

На рис. 1 представлена обобщённая блок-схема алгоритмов DQN и ADQN. Пока что в разделе 2.1 мы описываем классические аспекты DQN. В разделе 2.3 будет показано, каким образом ADQN расширяет DQN за счёт использования данных демонстраций.

2. *Супервизия эксперта*

Если имеются демонстрации $\{(s,a_E) \in D_{\text{demo}}\}$, их можно использовать для обучения супервизора по методу BC (Behavioral Cloning):

$$L_{\text{BC}}(\phi) = \frac{1}{N} \sum_{(s,a_E)\in D_{\text{demo}}} \ell\left(\pi(s;\phi), a_E\right) \quad (5)$$

где ℓ — функция потерь, например кросс-энтропия или MSE. Однако чистое BC не учитывает вознаграждение среды. Более продвинутая Margin-супервизия [6] для *Q*-сети требует, чтобы $Q(s,a_E)$ превосходило $Q(s,a)$ на некоторую константу $\Delta > 0$:

$$L_{\text{sup}}(\theta) = \mathrm{E}_{(s,a_E)\in D_{\text{demo}}}\left[\sum_{a \neq a_E} \max\left\{0, Q(s,a;\theta) + \Delta - Q(s,a_E;\theta)\right\}\right], \quad (6)$$

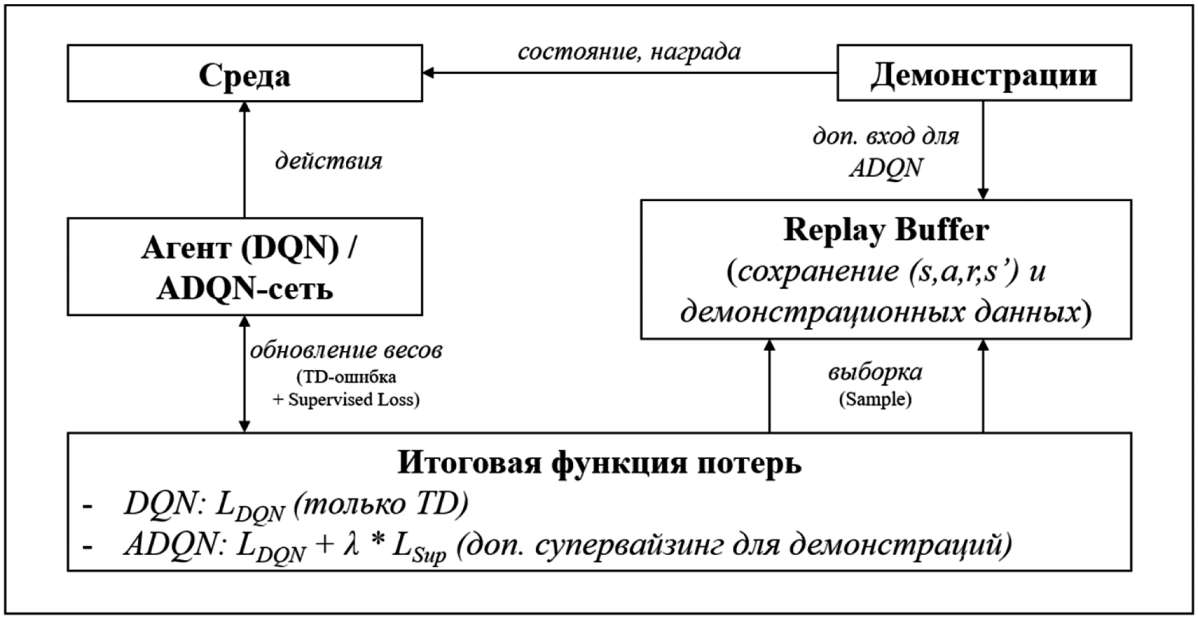


Рис. 1. Обобщённая блок-схема. Разница DQN (только TD-ошибка) и ADQN (TD + супервизия по действиям эксперта)

3. *Предложенный метод ADQN*

Предлагаемый алгоритм ADQN добавляет термин супервизии в функцию потерь DQN. Итоговая формула:

$$L_{\text{ADQN}}(\theta) = L_{\text{DQN}}(\theta) + \lambda L_{\text{sup-demo}}(\theta), \quad (7)$$

где λ — коэффициент, регулирующий вклад демонстраций. При онлайн-обучении для выборки (s_i, a_i, r_i, s_i') вычисляется TD-ошибка:

$$\delta_i = y_i - Q(s_i, a_i; \theta), y_i = r_i + \gamma max Q(s_i', a; \theta^-), \quad (8)$$

Тогда суммарная функция потерь сочетает δ_i^2 и Margin-слагаемое (только для демо-примеров):

$$L_{\text{ADQN}}(\theta) = \\ = \frac{1}{B}\sum_{i=1}^{B}(\delta_i^2) + \lambda \sum_{i:(s_i,a_i)\in \mathcal{D}_{\text{demo}}} \text{MarginLoss}(Q, s_i, a_E). \quad (9)$$

На рис. 2 показана двухэтапная схема обучения:

1. **Офлайн-предобучение** на демонстрационных переходах.
2. **Онлайн-обучение** с объединением новых данных и демонстраций в общем буфере, где приоритетный реплей увеличивает частоту выбора демо-примеров.

Основные этапы:

1. **Сбор демонстраций:** оператор (или другая готовая стратегия) генерирует набор успешных переходов (s, a_E).
2. **Офлайн-предобучение:** сеть обучается на этих демо-переходах, используя L_{DQN} и L_{sup}.
3. **Онлайн-фаза:** агент действует в среде, записывая новые переходы в реплей-буфер вместе с демонстрационными. Для некоторых переходов (демо) рассчитывается Margin-потеря, для всех — TD-потеря.
4. **Приоритетный реплей:** демо-примеры получают повышенный приоритет, чтобы не «затеряться» среди новых выборок.

Таким образом, метод ADQN совмещает достоинства обучения с подкреплением (поиск действий, потенциально более выгодных, чем у эксперта) и имитации (быстрый старт и снижение количества случайных ошибок).

Эксперименты

1. *Архитектура Q-сети*

В ADQN используется двухслойная полносвязная нейронная сеть (MLP) с 128 нейронами (ReLU) в каждом скрытом слое, см. рис. 3. На вход подаются признаки состояния (например, 10 скалярных признаков), на выходе — *Q*-значения для 4 дискретных действий (в иллюстративном примере). Для демонстрационных примеров добавляется Margin Loss (см. формулу (6)).

2. *3D-визуализация манипулятора*

Для проверки работоспособности метода применялась среда MATLAB/Simulink с моделью шестистепенно-

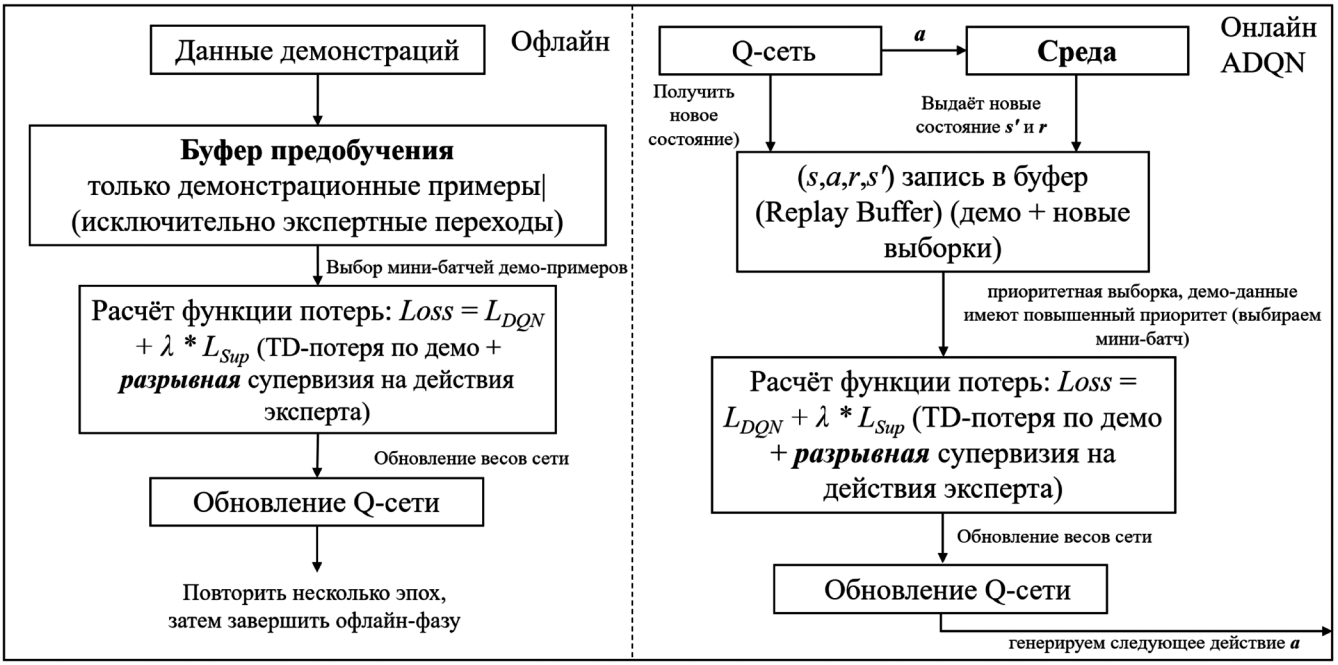


Рис. 2. Общая схема обучения ADQN

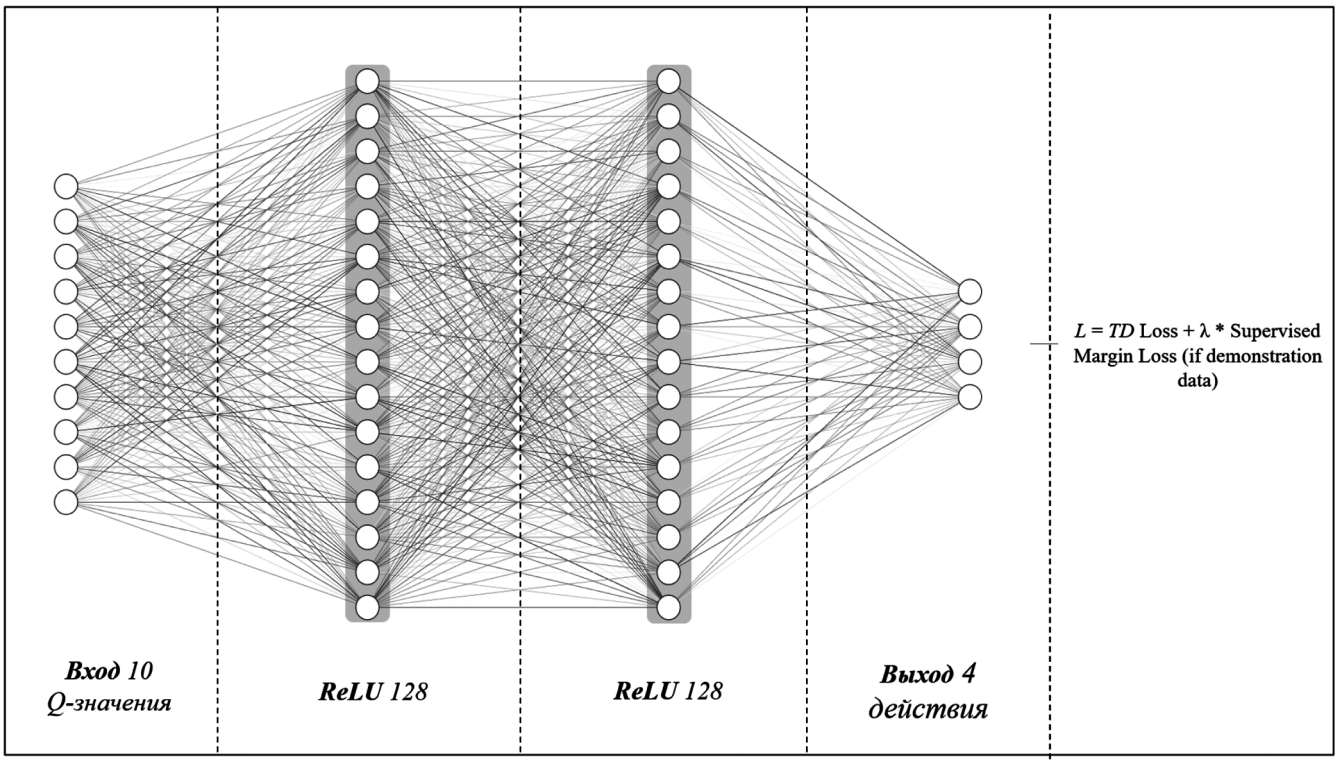


Рис. 3. Архитектура сети (двухслойная MLP с 128 нейронами в каждом скрытом слое)

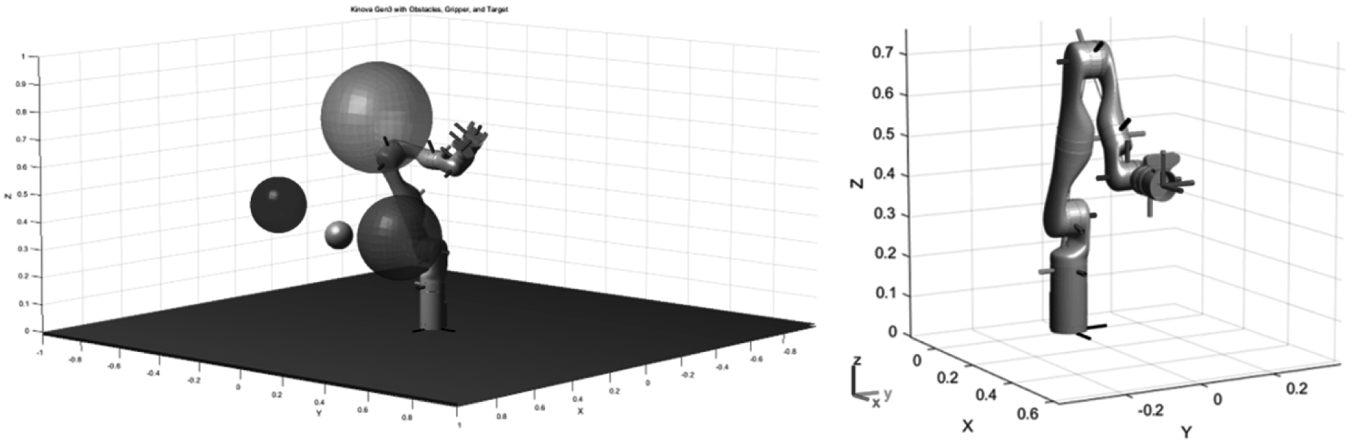


Рис. 4. 3D-визуализация среды с роботом (Kinova Gen3) и препятствиями (слева) и упрощённая модель (справа)

го робота-манипулятора. На рис. 4 показан пример сцены с несколькими сферическими препятствиями (слева) и упрощённая визуализация (справа). Цель состоит в том, чтобы переместить инструмент из начального положения в целевую точку и получить положительную награду +100.

Результаты экспериментов

1. *Сравнение ADQN, ANN и DQN*

На рис. 5 представлена кривая обучения (доля успешных эпизодов, усреднённая и сглаженная по нескольким испытаниям) в зависимости от числа шагов. Видно, что чистый DQN (базовый вариант) начинается с ~0 % и лишь после 6–7 $\times 10^5$ шагов достигает ~60–70 %. Алгоритм ANN (чистая имитация) стартует с ~50–60 %, но почти не улучшает результат. Предложенный метод ADQN уже на начальных этапах достигает 60 %+ и далее выходит на 80–90 %, превосходя оба базовых способа.

2. *Исследование отдельных модулей (абляция)*

На рис. 6 и 7 представлены результаты при отключении отдельных элементов ADQN.

На рис. 6 видно: если использовать демонстрации только в офлайн-режиме («Только предобучение»), конечный результат почти совпадает с обычным DQN. Лишь «Полный ADQN» (где демо сохраняются и в онлайн-фазе) даёт рост до ~90–95 %.

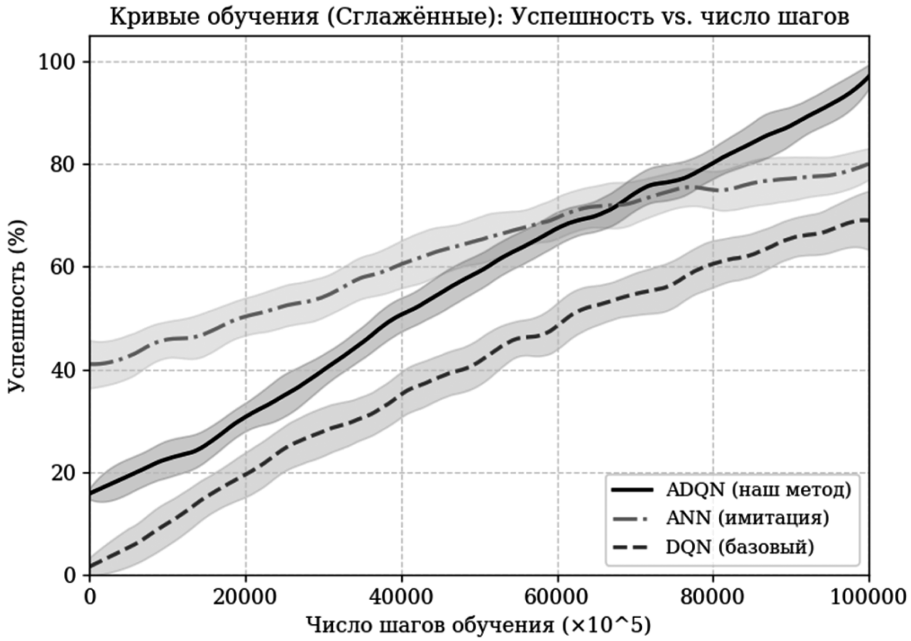


Рис. 5. Кривые обучения (ADQN, ANN, DQN): преимущество ADQN как на ранних этапах, так и по конечной успешности

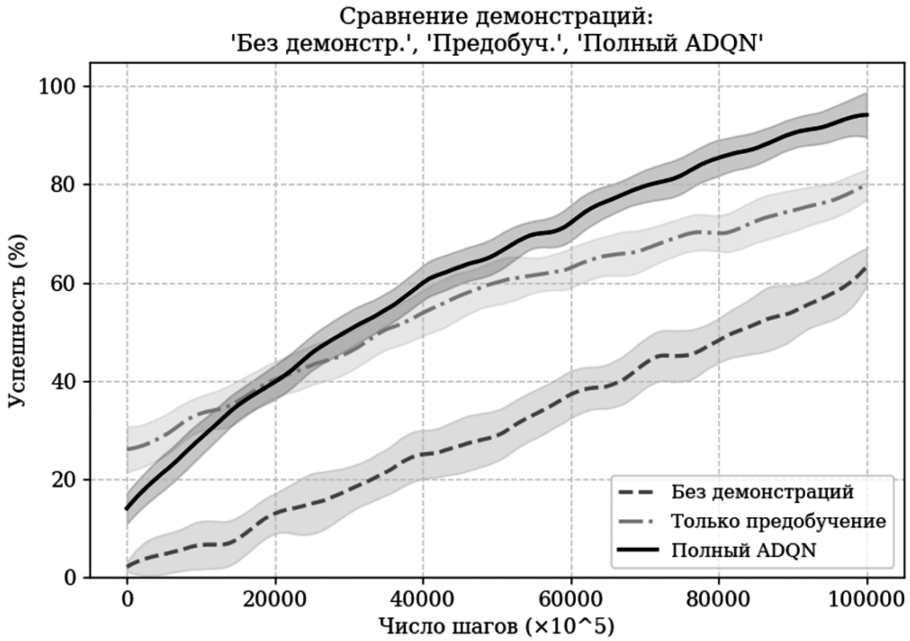


Рис. 6. Сравнение демонстраций: «Без демонстраций», «Только предобучение», «Полный ADQN»

На рис. 7 показано, что приоритетная выборка демопереходов ускоряет рост успешности и обеспечивает более высокий конечный результат.

3. *Сравнение с другими алгоритмами RL*

Для полноты экспериментов ADQN был также сопоставлен с PPO, A2C и SAC. Как показано на рис. 8, ADQN даёт более высокую итоговую успешность, большую суммарную награду и при этом требует меньше шагов для сходимости.

Выводы

В работе предложен метод ADQN, совмещающий:

1. **Q-обучение** с TD-ошибкой,
2. **Margin-супервизию** действий эксперта,
3. **Приоритетный реплей** для более частого использования демо-переходов.

Эксперименты по задаче позиционирования манипулятора и контрольные тесты на реальном роботе Kinova Gen3 показывают, что ADQN даёт значимый выигрыш по сравнению с чистым DQN и чистой имитацией (ANN).

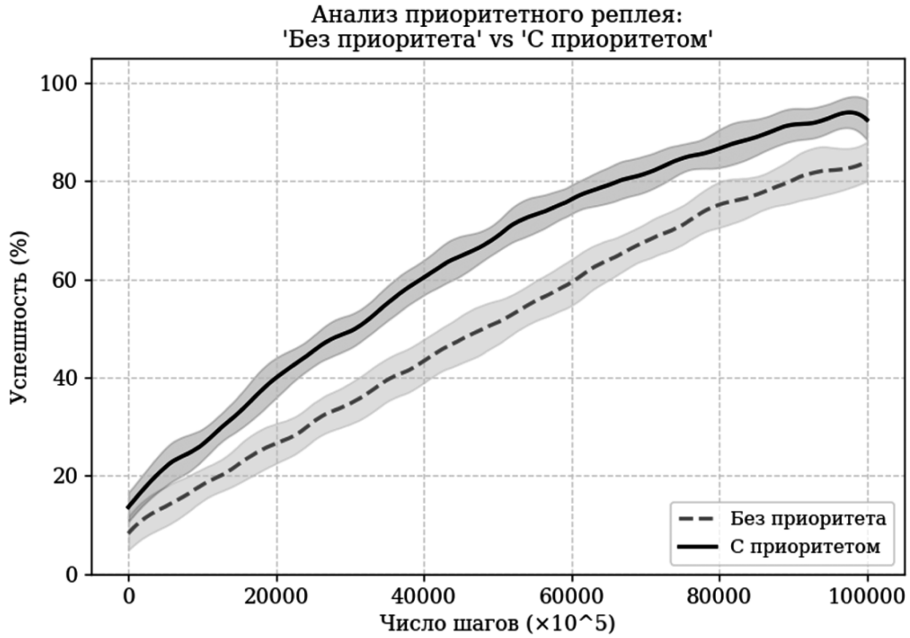


Рис. 7. Анализ приоритетного реплея: «Без приоритета» vs «С приоритетом»

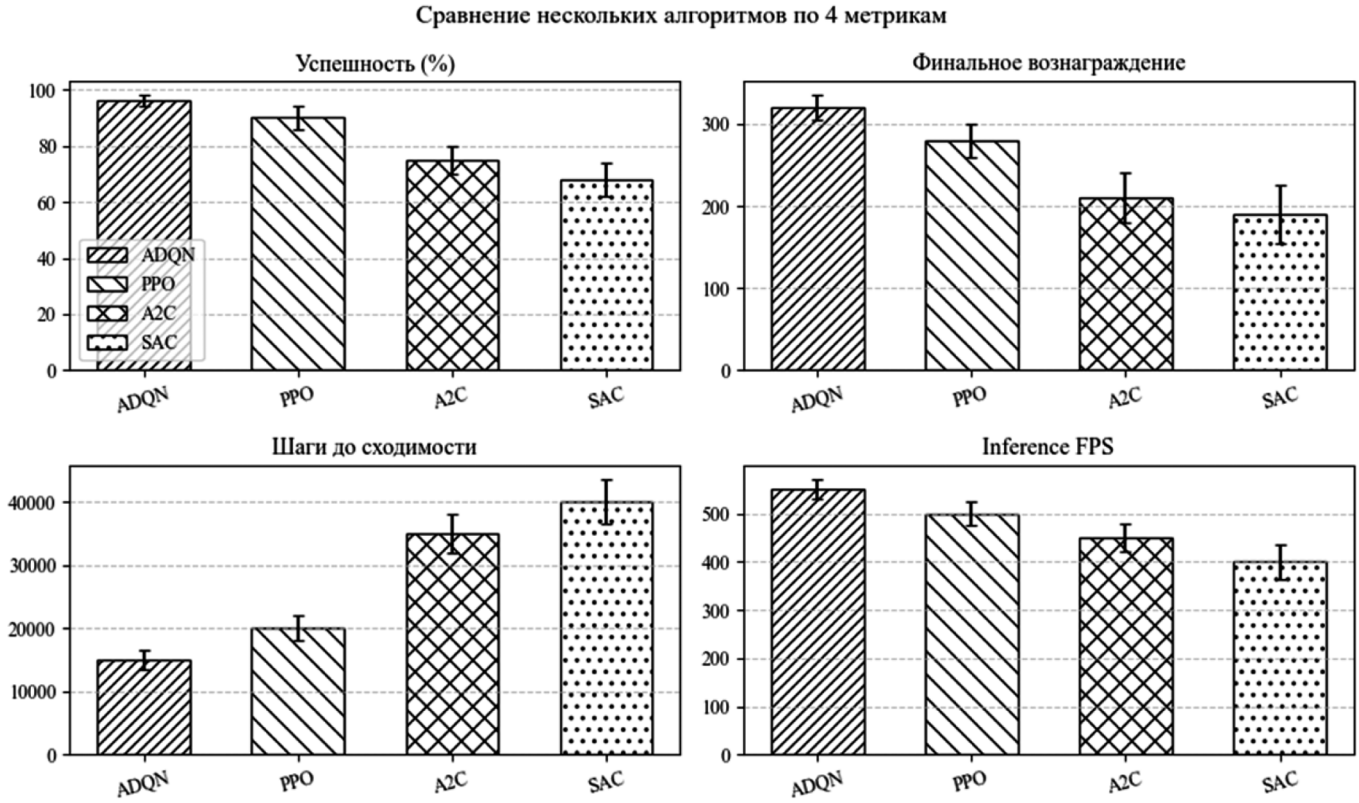


Рис. 8. Сравнение нескольких алгоритмов (PPO, A2C, SAC) по четырём метрикам. ADQN показывает преимущество как по успеху и вознаграждению, так и по скорости сходимости.

Метод обеспечивает высокий стартовый уровень (благодаря демонстрациям) и в то же время способен существенно превзойти эксперта за счёт дальнейшего обучения с подкреплением.

Основные направления будущих исследований:

1. Расширение на непрерывные пространства действий (напр. DDPG или SAC + демо).
2. Учёт ошибок и неточностей в демонстрациях, включая автоматическую фильтрацию «плохих» примеров.
3. Онлайн-демонстрации: расширение алгоритма для интерактивной работы с «учителем».
4. Разработка безопасных стратегий обучения на физическом роботе, минимизирующих рискованную динамику в ранних фазах экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манакитса Н., Мараслидис Г.С., Мойсис Л. и др. (2024). Обзор методов машинного обучения и глубокого обучения для обнаружения объектов, семантической сегментации и распознавания действий человека в задачах машинного и робототехнического зрения. Technologies, 12(2): 15.
2. Осбанд И., Бланделл К., Притцель А. и др. (2016). Глубокая исследовательская стратегия посредством Bootstrapped DQN. Advances in Neural Information Processing Systems, 29.
3. Мандлекар А., Сюй Д., Вонг Дж. и др. (2021). Что важно в обучении офлайн на человеческих демонстрациях для манипуляции роботами. arXiv preprint, arXiv:2108.03298.
4. Ду У., Дин С. (2021). Обзор многоагентного глубокого обучения с подкреплением: проблемы и приложения. Artificial Intelligence Review, 54(5): 3215–3238.
5. Чжэн Б., Верма С., Чжоу Дж. и др. (2022). Имитационное обучение: прогресс, таксономии и проблемы. IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 35(5): 6322–6337.
6. Чэн Ю., Лам Ч. Т., Пау Г. и др. (2025). Из виртуального в реальность: решение на основе глубокого обучения с подкреплением для реализации автономного вождения с использованием 3D-LiDAR. Applied Sciences, 15(3): 1423.

© Гао Тяньцы (Gaotianci0088@gmail.com); Бо Ян (yangbo.123@hotmail.com); Шэнжэнь Жао (raoshengren@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.07

СИСТЕМА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РАБОТЫ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ КОМПЛЕКСОВ УМНОГО ДОМА

SYSTEM FOR IMPROVING THE QUALITY OF OPERATION OF OPTICAL-ELECTRONIC COMPLEXES OF A SMART HOME

P. Gessen
S. Saradgishvili

Summary. This work is devoted to the problem of the quality of object identification and tracking in smart home ecosystems with the possibility of video processing. Due to the limitations in this area, the object of interest is approaches that remain computationally efficient with weak provision of computing resources. The authors conducted a study of both proven approaches and the latest methods in the field of tracking and identification of objects. Previously, the authors proposed a system that complements existing high-performance implementations to improve the accuracy characteristics of tracking and detection by adding scale and partial rotational invariance, a classical approach to extracting key features due to a histogram of directed segments, the support vector method as a classifier and further training it in the process. In the current work, an analysis of possible approaches to improving the previously presented method is carried out, existing solutions to the problem of collecting and determining key features of an object are studied, the implementation of a system with a neural network approach to their identification is provided, as well as the results of the work of original algorithms and using both proposed solutions, which show an improvement in the accuracy indicators of both tasks of interest. These improvements can be used in any smart home systems, although the possible scope of application may be much wider, to improve the quality of video surveillance, which may have a better impact on the quality of life of consumers of such products: from becoming a smart home even «smarter» in terms of predictive ability to improving security by improving surveillance systems.

Keywords: training, support vector machine, neural networks, clustering, tracking.

Гессен Павел Алексеевич
аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
gessen.pa@edu.spbstu.ru
Сараджишвили Сергей Эрикович
Кандидат технических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»
saradzh_se@spbstu.ru

Аннотация. Данная работа посвящена проблеме качества выявления объектов и слежения за ними в экосистемах умного дома с возможностью видеообработки. Ввиду ограничений в данной области, объектом интереса являются подходы, которые остаются вычислительно эффективными при слабом обеспечении вычислительными ресурсами. Авторами проведено исследование как зарекомендовавших себя подходов, так и новейших методов в сфере слежения и выявления объектов. Ранее авторами была предложена система, которая дополняет существующие высокопроизводительные реализации для повышения точностных характеристик сопровождения и обнаружения за счет добавления масштабной и частичной поворотной инвариантности, классического подхода к извлечению ключевых особенностей за счет гистограммы направленных градментов, метода опорных векторов в качестве классификатора и дообучения его в процессе работы. В текущей работе проводится анализ возможных подходов к улучшению ранее представленного метода, осуществляется изучение существующих решений задачи сбора и определения ключевых особенностей объекта, приводится реализация системы с нейросетевым подходом к их выявлению, а также приводятся результаты работы оригинальных алгоритмов и с использованием обоих предложенных решений, на которых видно улучшение точностных показателей обеих задач интереса. Данные улучшения представляется возможным использовать в любых системах умного дома, хотя возможная область применения может быть сильно шире, для повышения качества видеонаблюдения, что может в лучшую сторону повлиять на качество жизни потребителей подобных продуктов: от становления умного дома еще «умнее» в плане предсказательной способности до повышения безопасности за счет улучшения систем наружного наблюдения. Дополнительным преимуществом является простота внедрения в виду структуры предлагаемой системы: работа с любыми алгоритмами и модульность.

Ключевые слова: дообучение, метод опорных векторов, нейронные сети, кластеризация, слежение.

Введение

В настоящее время происходит активное развитие информационных технологий, что влияет на очень многие сферы жизни человека. Одним из самых значимых изменений является прогресс в оптических системах, что подтверждается их повсеместным использованием в совершенно различных областях: промышленность [1, с. 107], медицина [2, с. 3], транспорт [3] и прочее.

Одной из таких областей, которая может быть близка каждому, а не только узкопрофильным специалистам, является повседневная жизнь, а именно появление в ней экосистемы умного дома. Это направление активно развивается в последние годы. Сама система умного дома состоит из множества различных устройств с разным функционалом и способов их взаимодействия, включая и устройства с видеообработкой. Уже на данный момент используются различные приборы, функционирующие на основе данных с видеовхода, и еще больше находятся на этапе разработки. Помимо улучшения аппаратного обеспечения, разработка ведется и в направлении программного обеспечения. Однако общемировая практика таких исследований направлена в сторону улучшения точности решения задач в угоду производительности за счет использования большего объема вычислительных ресурсов [4; 5, с. 357], а это ведет к удорожанию производства, как следствие экономической нецелесообразности, и возможной несовместимости с определенными платформами, которые ограничены в своей производительности. При этом существующие программные решения имеют задел по производительности на текущих вычислительных мощностях.

Исходя из вышеописанного, актуальной задачей становится общее улучшение точностных характеристик существующих алгоритмов без сильного замедления производительности на текущих вычислителях. В статье [6, с. 160] предлагается решение поставленной проблемы. В данной статье авторами предлагается улучшить данную разработку путем еще большего улучшения показателей точности.

Таким образом цель настоящей работы — повысить показатель увеличения точностных характеристик исходной системы. Для этого должны быть выполнены следующие задачи: исследование существующих подходов и их сравнение, проектирование и реализация изменений, получение и анализ результатов.

Исследование предметной области

Рассмотрение подходов к решению задач выявления и слежения за объектами в видеопотоке приведено в статье [6, с. 158] и не является областью интереса конкретной статьи. В данной работе предлагается улучшить изначальную систему. Для этого необходимо проанализировать исходные данные и определить области с наибольшим интересом. Обращая внимание на структуру исходного модуля, такими местами, которые потенциально могут принести наибольший качественный прирост, являются подход к классификации и подход к выделению ключевых особенностей объекта. В данной работе авторами предлагается изменить второй аспект ввиду его более раннего влияния на результат и меньшей комплексной интегрированности во всю систему.

В изначальной статье для описания объекта используется гистограмма направленных градиентов [7] — классический метод представления объекта, выбранный из-за высокой скорости работы и доказанной эффективности. Однако текущее состояние области таково, что для решения подобных задач в подавляющем большинстве случаев используются нейросетевые подходы. Рассмотрим их с точки зрения скорости работы, которая является одним из ключевых ограничений. Она напрямую зависит от количества параметров этих сетей.

Таблица 1.

Методы извлечения ключевых особенностей

Название	Количество параметров
AlexNet	60 M
VGG-16	138 M
VGG-19	144 M
Inception-V1 (GoogleNet)	5 M
ResNet-18	11.7 M
ResNet-34	25.6 M
ResNet-50	26 M
ResNet-101	44.6 M
ResNet-152	230 M
Inception-v2	21.8 M
Inception-v3	21.8 M
Inception-ResNet-V2	55 M
Darknet-19	20.8 M
Xception	22.9 M
SqueezeNet	1.24 M
ShuffleNet	143 M
ShuffleNet-v2	2.3 M
DenseNet-100 (k = 12)	7.0 M
DenseNet-100 (k = 24)	27.2 M

Название	Количество параметров
DenseNet-250 (k = 24)	15.3 M
DenseNet-190 (k = 40)	25.6 M
DetNet	-
EfficientNet B0 до B7	от 5.3 M до 66 M
MobileNet	4.2 M
MobileNet-v2	3.4 M
WideResNet-40-4	8.9 M
WideResNet-16-8	11 M
WideResNet-28-10	36.5 M
SWideRNet	от 7.77 M до 946.69 M
HRNet W32, W48	28.5 M, 63.6 M
HRNet V2	-

Из представленного списка видно, что существует множество подходов к извлечению признаков из изображения, что доказывает их эффективность, хотя они все и основаны на сверточных нейронных сетях. Основным наблюдением в данной таблице является то, что такие сети в большинстве своем имеют большое количество параметров, что делает их «тяжелыми», то есть требовательными к аппаратной части для работы в режиме реального времени. Таким образом, наиболее подходящей реализацией является нейросеть SqeezeNet [7]. Эта сеть осуществляет классификацию изображения на заранее обученные классы, однако в рамках этой статьи она интересует авторов только способом извлечения ключевых признаков.

Предлагаемые улучшения

За основу берется предложенная в [6, с. 161] система улучшения характеристик существующих алгоритмов. Дальнейшие изменения можно разделить на 3 части в соответствии с последовательностью работы исходного подхода: обучение, корректировка, выявление.

Обучение

Данный этап является ключевым по влиянию на дальнейшее функционирование комплекса. Основным изменением является замена HOG-дескриптора [8, с. 887], который осуществлял сбор ключевых особенностей поданного на вход изображения объекта, на экстрактор ключевых особенностей нейронной сети SqeezeNet. Как было оговорено выше, он был выбран ввиду высокой вычислительной эффективности при высокой же эффективности выполнения задачи сбора признаков. Отдельно стоит отметить, что в данной работе была выбрана предобученная на общем наборе данных реализация для более корректных результатов с точки зрения обобщенного подхода. По итогу, в начале работы осуществляется обучение классификатора на основе SVM [9, с. 25] с последующим дообучение в процессе. Также были изменены внутренние параметры классификатора для более точной работы с новым форматом входных данных.

Корректировка

Аналогично предыдущему блоку, изменению подвергся и этот: старый метод извлечения признаков заменен на новый. Теперь проверка на корректность положения объекта в кадре осуществляется на основе нейросетевого подхода. Остальные составные части, такие как кластеризация и классификация (за исключением вышеописанных правок) остались неизменными.

Выявление

Изменения аналогичные предыдущим — замена способа извлечения описания признаков объекта, теперь на вход классификатору поступает набор данных от нейронной сети, в дальнейшие этапы изменения не вносились.

Тестирование

Изменению подверглись два блока, которые необходимо рассматривать отдельно: наблюдение и выявление. Методики для их оценки приведены ниже. В обоих случаях будет использована специализированная среда оценки качества работы алгоритмов [10, с. 22], представляющая собой набор заранее размеченных видеопоследовательностей с различными объектами интереса в различных условиях.

Слежение

Для правильной и наиболее полной оценки качества, производимых предложенной системой улучшений на протяжении наблюдения и корректировки положения описывающего прямоугольника необходимо и достаточно на основании собранных показателей провести оценку метрики IoU (Intersection over Union) [11, с. 659]. В качестве улучшаемых алгоритмов были выбраны девять реализаций классических алгоритмов, которые хорошо показывают себя в условиях ограничений при слабых вычислительных мощностях. Подход к проведению тестирования для оценки результатов, применяемый на каждой из видеопоследовательностей:

1) Выбор основного алгоритма с добавленной оригинальной системой наблюдения.
2) Использование тестовой среды для оценки его характеристик.
3) Замена системы на улучшенную.

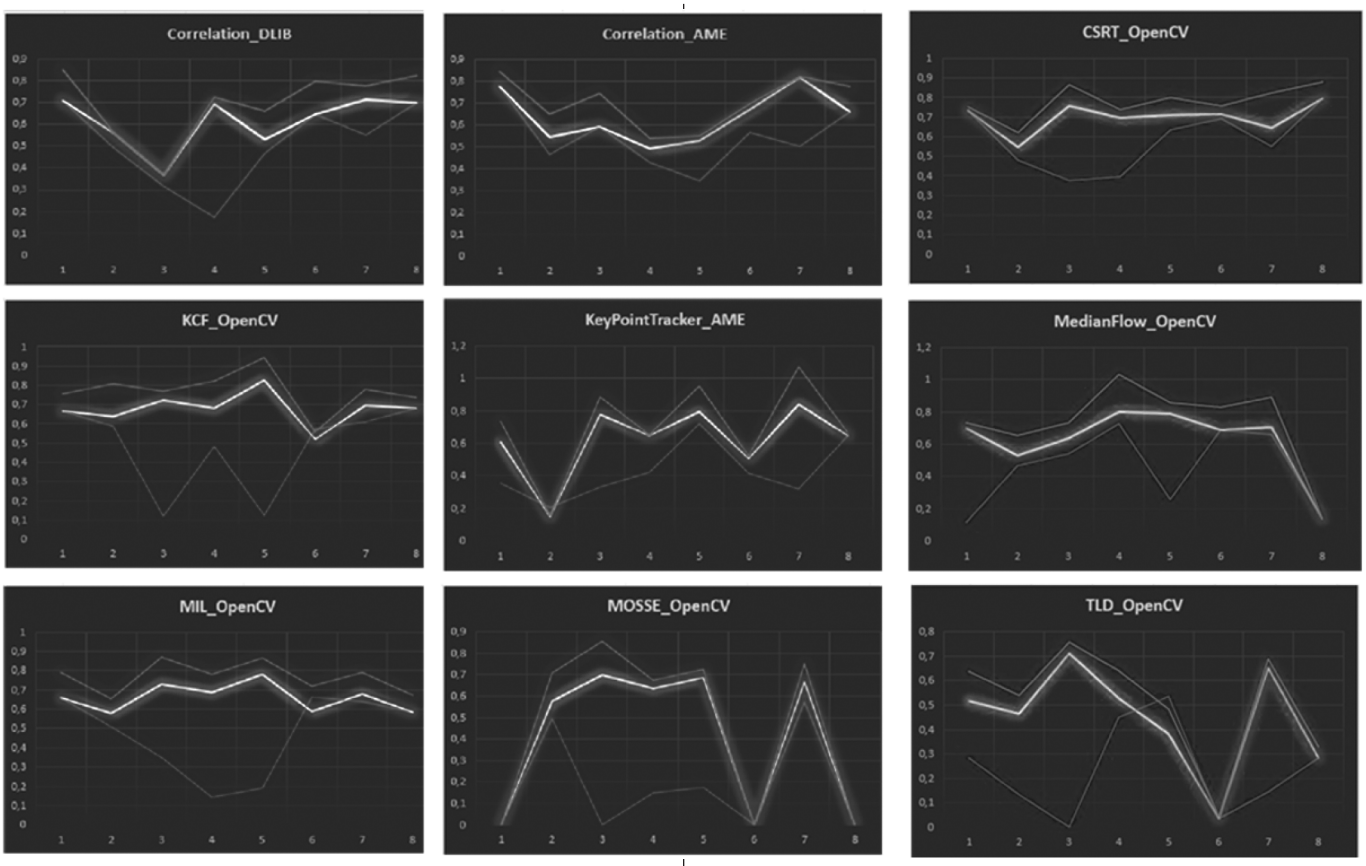


Рис. 1. Графики значений IoU слежения. Синим цветом обозначен оригинальный алгоритм, зеленым — комбинированный с оригинальной системой, голубым — улучшенная система

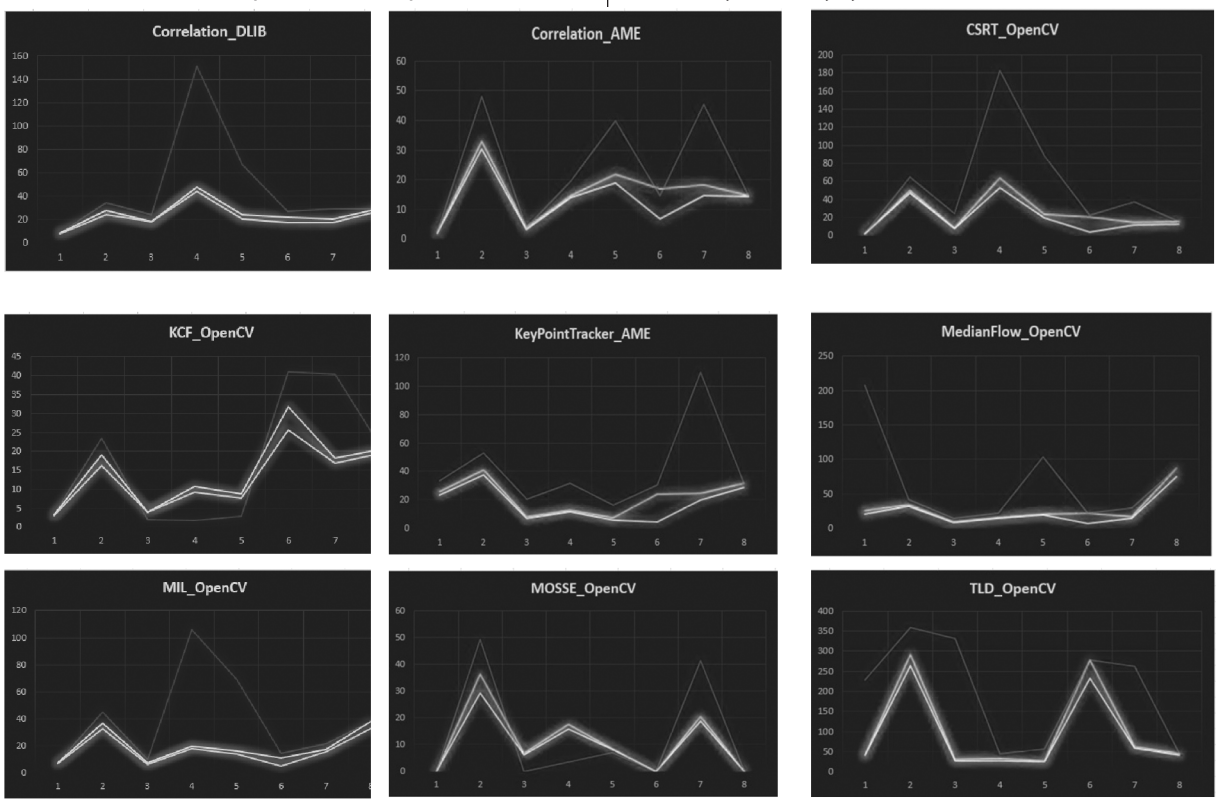


Рис. 2. Графики удаленности центров при слежении. Синим цветом обозначен оригинальный алгоритм, красным — комбинированный с оригинальной системой, зеленым — улучшенная система

4) Повторный запуск полученного комплекса и сбор метрик.
5) Анализ результатов первого и второго запусков.

Выявление

Ввиду того, что не все алгоритмы имеют возможность повторно выявлять объект интереса после его потери, метод исследования в данном случае будет несколько отличаться. Для оценки данного этапа будет использован многоагентный алгоритм в качестве эталона. Подход к проведению тестирования для оценки результатов, применяемый на каждой из видеопоследовательностей:

1) Обучение классификатора на протяжении 100–400 кадров при помощи размеченного истинного положения объекта.
2) Имитация срыва наблюдения путем перехода на другой кадр, разделенный с последним кадром обучения не менее, чем на 100 фреймов.
3) Получение информации о положении объекта от исследуемого способа.
4) Вычисление IoU и разницы дистанции центров от полученного результата и истинного положения объекта.

Данная последовательность действий применяется к трем алгоритмам: оригинальный многоагентный [12, с. 219], многоагентный с оригинальной системой и многоагентный с улучшенной системой.

Результаты

На рис. 1–4 приведены графики, полученные по результатам исследования алгоритмов по вышеописанным методикам. На всех графиках по оси абсцисс расположены порядковые номера видеопоследовательностей.

Собрав полученные результаты, можно увидеть, что для задачи слежения усредненное увеличение показателя IoU стало ~14 %, а разница между центрами в среднем стала меньше на ~16 %. Анализируя данные по задаче слежения, получаем следующие результаты: среднее значение IoU ~0.56 и средняя дистанция до центра ~21.9. Первое значение превосходит показатели оригинальной системы на 0.06, второе на 2.7. Все полученные результаты свидетельствуют об улучшении оригинальной системы в задачах корректировки и выявления, причем во втором случае можно говорить о высокой точности локализации объекта после его повторного обнаружения (для сравнения алгоритм tld на тех же данных имеет показатели 0.41 и 30.2). Однако скоростные показатели во время работы показали снижение ~32 %, что обусловлено использованием нейронной сети. Данное замедление существенно, особенно для алгоритмов, которые почти не имели запаса по производительности для работы в реальном времени, однако в некоторых случаях им можно пренебречь: в алгоритмах с большим запасом времени вычисления или если необходима повышенная точность в определенных задачах. Возможным вариантом решения проблемы замедления может быть отказ от обработки каждого кадра или оптимизация под целевую платформу.

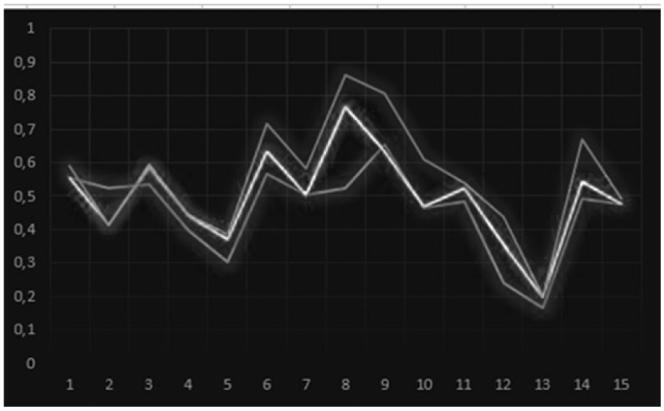


Рис. 3. Графики IoU для детекции многоагентного алгорима (синий), оригинальной системы (оранжевый), улучшенной системы (серый)

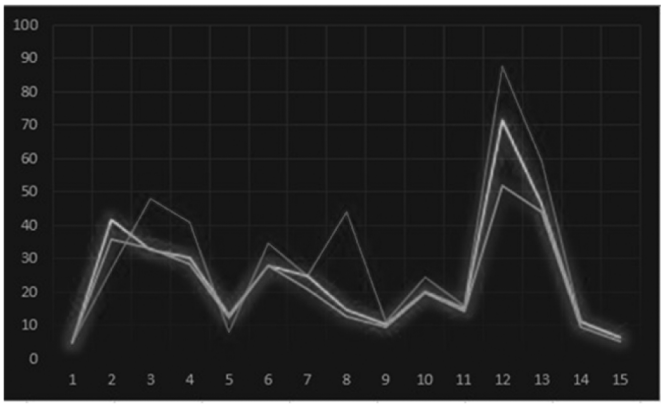


Рис. 4. Графики разницы центров для детекции многоагентного алгоритма (синий), оригинальной системы (оранжевый), улучшенной системы (серый)

Заключение

В работе были изучены существующие подходы извлечения ключевых особенностей из объектов на изображениях. Было предложено и реализовано усовершенствование системы улучшения точностных характеристик устройств умного дома. Проведены оценки качества работы предлагаемой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zhou L., Zhang L., Konz N. Computer Vision Techniques in Manufacturing // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2022, vol. 53, no. 1, pp. 105–117, doi: 10.1109/TSMC.2022.3166397.
2. Gao J., Yang Y., Lin P., Park D. Computer Vision in Healthcare Applications // Journal of Healthcare Engineering, 2018, pp. 1–4, doi: 10.1155/2018/5157020.
3. Dilek E., Dener M. Computer Vision Applications in Intelligent Transportation Systems: A Survey // Sensor, 2023, 23(6):2938, doi: 10.3390/s23062938.
4. Rajib D., Mrinal K.B. A comprehensive survey on computer vision-based concepts, methodologies, analysis, and applications for automatic gun/knife detection. // Journal of Visual Communication and Image Representation, 2021, vol. 78, doi: 10.1016/j.jvcir.2021.103165.
5. Zhang Y., Wang L., Qi J., Wang D., Feng M., Lu H. Structured Siamese Network for Real-Time Visual Tracking // Computer Vision — ECCV 2018. ECCV 2018. Lecture Notes in Computer Science, 2018, vol. 11213, pp. 355–370, doi: 10.1007/978-3-030-01240-3_22.
6. Гессен П.А., Сараджишвили С.Э. Система улучшения точностных показателей видеообработки комплексов умного дома // Системный анализ в проектировании и управлении. 2024. №2. С. 157–166. doi: 10.18720/SPBPU/2/id24-159.
7. Iandola F., Han S., Moskewicz M., Ashraf K., Dally W., Keutzer K. SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and <0.5MB model size // ArXiv, 2016, URL: https://arxiv.org/pdf/1602.07360 (дата обращения: 29.08.2024), doi: 10.48550/arXiv.1602.07360.
8. Dalal N., Triggs B. Histograms of oriented gradients for human detection // 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'05), 2005, vol. 1, pp. 886–893, doi: 10.1109/CVPR.2005.177.
9. Shalev-Shwartz S., Singer Y., Srebro N. Pegasos: primal estimated subgradient solver for SVM // Mathematical Programming, 2011, vol. 127, pp. 3–30, doi: 10.1007/s10107-010-0420-4.
10. Бондаренко В.А., Гагарина А.Ю., Павлова В.А., Тупиков В.А. Программный комплекс автоматизации тестирования и валидации алгоритмов обнаружения и сопровождения объектов. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. №7. С. 16–28. doi: 10.24412/2071-6168-2021-7-16-28.
11. Rezatofighi H., Tsoi N., Gwak J., Sadeghian A., Reid I., Savarese S. Generalized Intersection Over Union: A Metric and a Loss for Bounding Box Regression // 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2019, pp. 658–666, doi: 10.1109/CVPR.2019.00075.
12. Бондаренко В.А., Ельцова Д.К., Лизин А.И., Павлова В.А., Созинова М.В., Тупиков В.А. Многоагентный алгоритм автоматического обнаружения и сопровождения недетерминированных объектов. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2020. №1 (211). С. 218–232. doi: 10.18522/2311–3103-2020-1-218-232.

© Гессен Павел Алексеевич (gessen.pa@edu.spbstu.ru); Сараджишвили Сергей Эрикович (saradzh_se@spbstu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.08

АРХИТЕКТУРА И ЗАДАЧИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ПО ИЗУЧЕНИЮ И ТЕСТИРОВАНИЮ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНЫХ МОДЕЛЕЙ ШИФРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАОТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

ARCHITECTURE AND TASKS OF A SOFTWARE COMPLEX FOR STUDYING AND TESTING STEGANOGRAPHIC SYSTEMS AND SOFTWARE ENCRYPTION MODELS USING CHAOTIC TRANSFORMATIONS

E. Golovkov

Summary. The article presents the architecture and tasks of a software complex for studying and testing steganographic systems and software encryption models using chaotic transformations. The complex enables testing various encryption methods, evaluating the imperceptibility and throughput of stegosystems, and analyzing chaotic maps such as the Arnold Map, Baker Map, DNA transformations, and sinusoidal maps. The main tasks of the complex include result visualization and comparative analysis of methods. The developed software complex demonstrates high versatility and applicability for scientific research in the fields of steganography and information security.

Keywords: steganographic systems, chaotic transformations, software complex, information security, data encryption.

Головков Евгений Владимирович
аспирант, Петербургский Государственный Университет Путей Сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург
golovkov-ev@mail.ru

Аннотация. В статье представлена архитектура и задачи программного комплекса для изучения и тестирования стеганографических систем и программных моделей шифрования с использованием хаотических преобразований. Комплекс позволяет проводить тестирование различных методов шифрования, оценивать незаметность и пропускную способность стегосистем, а также анализировать хаотические карты, такие как Карта Арнольда, Карта Бейкера, ДНК-преобразования и синусоидальные карты. Приведены основные задачи комплекса, включая визуализацию результатов и проведение сравнительного анализа методов. Разработанный программный комплекс демонстрирует высокую универсальность и применимость для научных исследований в области стеганографии и информационной безопасности.

Ключевые слова: стеганографические системы, хаотические преобразования, программный комплекс, информационная безопасность, шифрование данных.

Введение

С развитием цифровых технологий и сети Интернет, защита информации становится одной из самых актуальных проблем. Обмен данными в глобальных сетях требует эффективных методов защиты, особенно в условиях постоянных угроз утечек и атак на конфиденциальность данных. Одним из таких методов является стеганография — наука о скрытии информации в обычных носителях, таких как изображения, звуки и видео. В отличие от традиционного шифрования, стеганография обеспечивает скрытность сообщения, позволяя передавать его незаметно для третьих лиц, что делает этот метод важным инструментом в обеспечении безопасности данных.

Особое внимание в последние годы уделяется применению хаотических преобразований в стеганографии. Хаос, как математическое явление, характеризуется высокой чувствительностью к начальным условиям, что делает его отличным инструментом для создания криптографических алгоритмов и методов для стеганографии. Хаотические преобразования обладают свойствами непредсказуемости и случайности, что увеличивает уровень безопасности и устойчивости к различным видам атак.

Тем не менее, несмотря на потенциал хаотических преобразований в стеганографии, их использование требует комплексного подхода к тестированию и оценке эффективности. Для этого необходимо наличие специализированных программных комплексов, которые могли бы не только реализовывать эти преобразования, но и тестировать их на реальных данных, а также оценивать ключевые характеристики стеганографических систем, такие как незаметность, пропускная способность и устойчивость к атакам.

Целью данной работы является разработка программного комплекса для изучения и тестирования стеганографических систем и программных моделей шифрования, основанных на хаотических преобразованиях. В рамках этой работы будет представлен подход, который включает анализ различных хаотических карт, таких как Карта Арнольда, Карта Бейкера, ДНК-преобразования и синусоидальные карты. Комплекс позволит исследовать не только характеристики стегосистем, но и провести сравнительный анализ различных методов с точки зрения их безопасности и эффективности.

Материалы и методы

1. *Архитектура программного комплекса*

Разработанный программный комплекс для изучения и тестирования стеганографических систем и программных моделей шифрования хаотическими преобразованиями имеет модульную архитектуру, обеспечивающую гибкость, масштабируемость и удобство использования.

Ключевые элементы архитектуры включают:

1. Модуль управления системой.
- Основной компонент, координирующий работу всех остальных модулей. Обеспечивает выполнение основных задач и управление потоками данных между модулями.
2. Стеганографический модуль.
- Состоит из трёх подмодулей:
— Модуль сокрытия. Реализует алгоритмы внедрения скрытых сообщений в контейнеры.
— Модуль извлечения. Предназначен для восстановления скрытых сообщений из стегоконтейнеров.
— Модуль шифрования. Обеспечивает дополнительную защиту данных с использованием хаотических преобразований.
3. Модуль управления алгоритмами.
- Служит связующим звеном между алгоритмами и стеганографическим модулем. Позволяет интегрировать и управлять различными алгоритмами обработки данных.
4. Модуль управления элементами пользовательского интерфейса (UI).
- Обеспечивает взаимодействие пользователя с системой, включая визуализацию результатов и настройку параметров.
5. Модуль вспомогательных функций.
- Включает в себя инструменты для логирования, обработки ошибок и выполнения сервисных операций.

Архитектура обеспечивает взаимодействие всех модулей, что позволяет проводить полный цикл тестирования стеганографических систем — от внедрения и шиф-

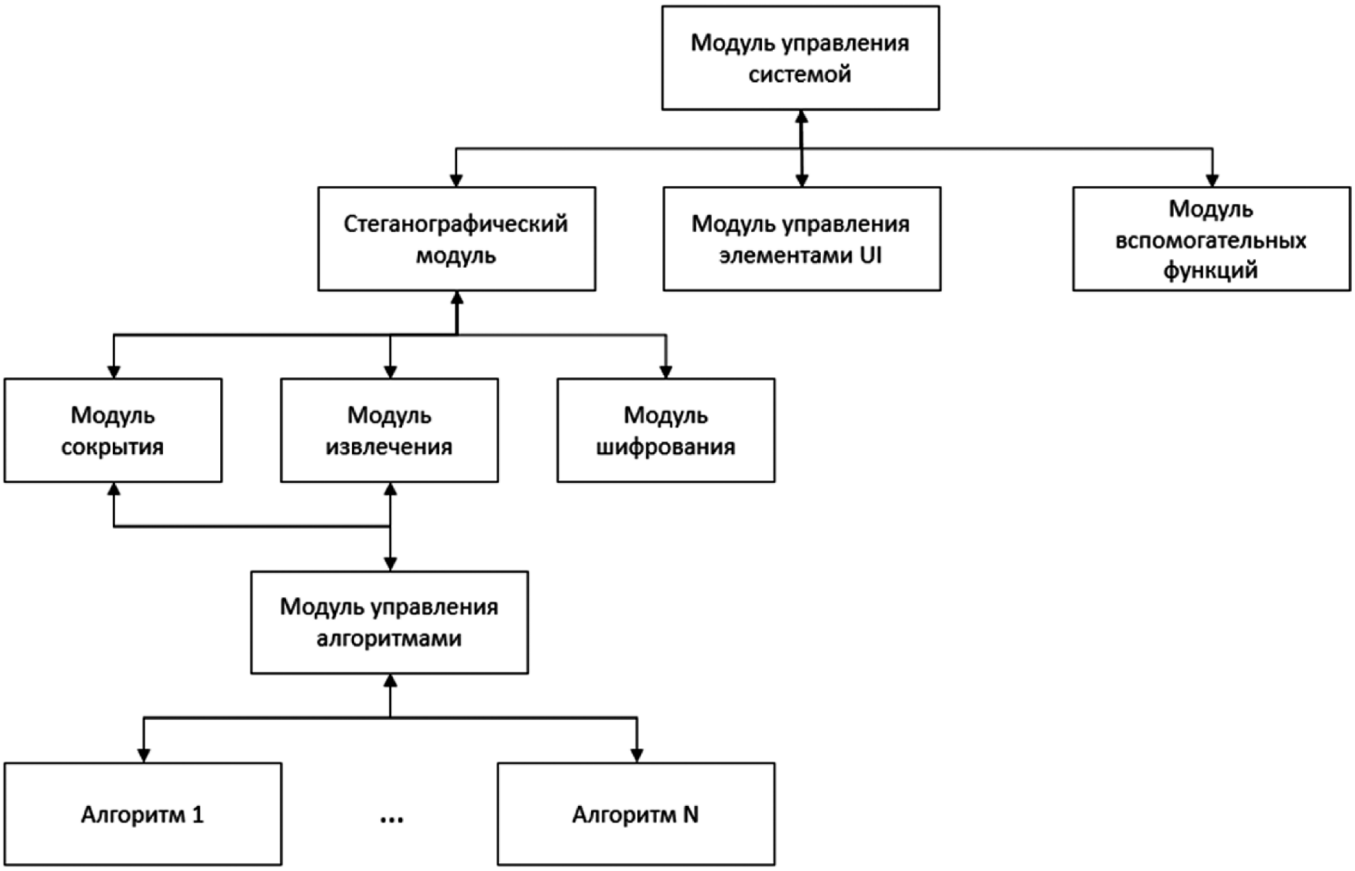


Рис. 1. Блок-схема архитектуры программного комплекса

рования до анализа извлечённых данных. На рисунке 1 представлена блок-схема архитектуры программного комплекса, отражающая взаимодействие модулей между собой.

2. *Задачи программного комплекса*

Автором были поставлены основные задачи, которые должен решать программный комплекс, предназначенный для изучения и тестирования стеганографических систем и моделей шифрования с использованием хаотических преобразований.

Первая задача заключается в обеспечении эффективного анализа алгоритмов сокрытия информации в цифровых изображениях. Это включает в себя как оценку их незаметности для стороннего наблюдателя, так и проверку устойчивости к атакам, что позволяет исследовать слабые места системы и усиливать ее защиту.

Вторая задача связана с реализацией методов шифрования данных, основанных на хаотических преобразованиях. Такие методы характеризуются высокой чувствительностью к начальным параметрам и сложной структурой выходных данных, что делает их особенно эффективными для защиты информации. Комплекс предоставляет возможность тонкой настройки параметров преобразований, адаптируя их под конкретные задачи.

Третья задача включает интеграцию всех компонентов стеганографической системы в единую архитектуру, что позволяет моделировать их взаимодействие и оценивать влияние различных комбинаций алгоритмов на общую производительность. Благодаря продуманной системе визуализации пользователи могут наблюдать изменения, происходящие на этапах сокрытия, шифрования и извлечения информации, что способствует глубокому пониманию принципов работы системы.

Четвертая задача направлена на решение образовательных и исследовательских потребностей. Комплекс должен быть полезен как для профессионалов, так и для студентов, позволяя не только использовать готовые алгоритмы, но и внедрять новые. Таким образом, он обеспечивает широкие возможности для экспериментов и дальнейших разработок в области стеганографии и защиты информации.

3. *Используемые хаотические преобразования*

В рамках программного комплекса для изучения и тестирования стеганографических систем используются следующие хаотические преобразования:

Карта Кота Арнольда

Карта Кота Арнольда позволяет перемешивать пиксели изображения таким образом, что результат визуально напоминает случайный шум. Однако, применяя обратное преобразование, можно восстановить исходное изображение. Основная задача, решаемая с использованием этой карты, — анализ устойчивости стеганографических систем к нарушителям, которые пытаются обнаружить скрытые данные за счет пространственных изменений.

Математическое описание:

$$p' = (2p + q)\mathrm{mod}1,\ q' = (p + q)\mathrm{mod}1. \qquad (1)$$

В матричной форме эти соотношения имеют следующий вид как представлено в уравнении 2:

$$\begin{vmatrix} p' \\ q' \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} p \\ q \end{vmatrix} \mathrm{mod}1 = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} p \\ p \end{vmatrix} \mathrm{mod}1. \qquad (2)$$

Где p, q — это координаты пикселя.

Карта Бейкера

Карта Бейкера используется для создания высокой степени перемешивания данных в контейнере. Она особенно эффективна при работе с изображениями, обладающими регулярной структурой.

Математическое описание выглядит следующим образом:

$$(p', q') = \begin{cases} (2p, q/2) \text{ если } 0 \le p < 1/2 \\ (2 - 2p, 1 - q/2) \text{ если } 1/2 \le p < 1. \end{cases} \qquad (3)$$

ДНК-преобразования

ДНК-преобразования представляют собой инновационный подход, основанный на использовании биоинформатических принципов. В данном случае данные кодируются в виде последовательностей, аналогичных ДНК. Это позволяет повысить скрытность и сложность обнаружения.

Пример: для представления данных используются правила дополнения Уотсона-Крика (A ↔ T, C ↔ G), а преобразования выполняются в соответствии с выбранной последовательностью.

С точки зрения стеганографических методов, эти нуклеотиды можно закодировать двоичными числами, например:

$$A \to 00, T \to 11, G \to 01, C \to 10.$$

Таким образом, пары A & T и G & C также становятся взаимодополняющими. При этом существуют 24 различных типа правил кодирования ДНК, из которых только восемь соответствуют принципу дополнения Уотсона-

Крика. В нашем исследовании используются именно эти восемь правил для шифрования каждого пикселя изображения в процессе кодирования ДНК.

Таблица 1.

Правила кодирования ДНК [1]

Правило	1	2	3	4	5	6	7	8
00	A	A	T	T	G	G	C	C
01	C	G	C	G	A	T	A	T
10	G	C	G	C	T	A	T	A
11	T	T	A	A	C	C	G	G

ДНК-преобразования применяются для усиления скрытности данных, так как сложные взаимосвязи между закодированными последовательностями усложняют обнаружение скрытой информации и увеличивают устойчивость к попыткам взлома. Подробно применение данного метода было разобрано в отдельной статье [2].

Синусоидальные карты

Эти карты основаны на использовании тригонометрических функций для создания хаотической последовательности. Синусоидальные преобразования применяются для случайного перемешивания пикселей, сохраняя их первоначальные значения.

Пример уравнения:

$$p_{n+1} = \alpha \sin(\pi p_n). \quad (4)$$

где α — коэффициент усиления хаотического эффекта, а x_n — текущее значение пикселя.

Эти хаотические преобразования позволяют программному комплексу выполнять задачи анализа устойчивости, оценки хаотичности преобразований и разработки алгоритмов, устойчивых к различным видам атак.

4. *Методы оценки стегосистем*

Методы оценки эффективности и надежности стегосистем базируются на ряде ключевых метрик, которые позволяют анализировать устойчивость, скрытность и хаотичность системы. Среди наиболее значимых показателей выделяются NPCR, UACI, корреляция соседних пикселей и энтропия.

NPCR (Number of Pixels Change Rate) — это метрика, которая измеряет процент изменившихся пикселей в изображении после внесения скрытого сообщения. Она отражает способность стегосистемы изменять структуру изображения при минимальном визуальном воздействии. Формула для вычисления NPCR выглядит следующим образом:

$$NPCR = \frac{\sum_{i,j} D(i,j)}{W \times H} \times 100, \quad (5)$$

где D (i, j) — функция, принимающая значение 1, если пиксели на позиции (i, j) различаются в двух изображениях, и 0 — в противном случае; W и H — ширина и высота изображения.

UACI (Unified Average Changing Intensity) — это метрика, оценивающая среднее изменение интенсивности пикселей между исходным и измененным изображениями. Она вычисляется по формуле:

$$UACI = \frac{1}{W \times H} \sum_{i,j} \frac{\left| C_1(i,j) - C_2(i,j) \right|}{255} \times 100 \quad (6)$$

где $C_1(i, j)$ и $C_2(i, j)$ — значения интенсивности пикселей в исходном и измененном изображении соответственно.

Корреляция соседних пикселей — важный показатель, демонстрирующий степень схожести между значениями соседних пикселей в изображении. Чем ниже корреляция, тем выше хаотичность системы. Коэффициент корреляции

r вычисляется по следующей формуле:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (x_i - \mu_x)^2 \cdot \sum_{i=1}^{N} (y_i - \mu_y)^2}}, \quad (7)$$

где x_i и y_i — значения интенсивности двух соседних пикселей, а μ_x и μ_y — их средние значения.

Энтропия — метрика, отражающая уровень неопределенности в распределении значений пикселей. Высокое значение энтропии говорит о большей сложности и хаотичности стегосистемы. Энтропия вычисляется по следующей формуле:

$$H = -\sum_{i=0}^{255} p_j \log(p_j). \quad (8)$$

Где p_i — вероятность появления каждого значения интенсивности i в изображении.

5. *Программный интерфейс*

Интерфейс разработанного программного обеспечения предназначен для обеспечения подробного учебного взаимодействия пользователя с функционалом стеганографической системы. Дизайн интерфейса основывается на принципах интуитивности и максимизации наглядности действий, необходимых для выполнения операций по кодированию и декодированию сообщений. На рисунке 2 представлен разработанный пользовательский интерфейс программного комплекса.

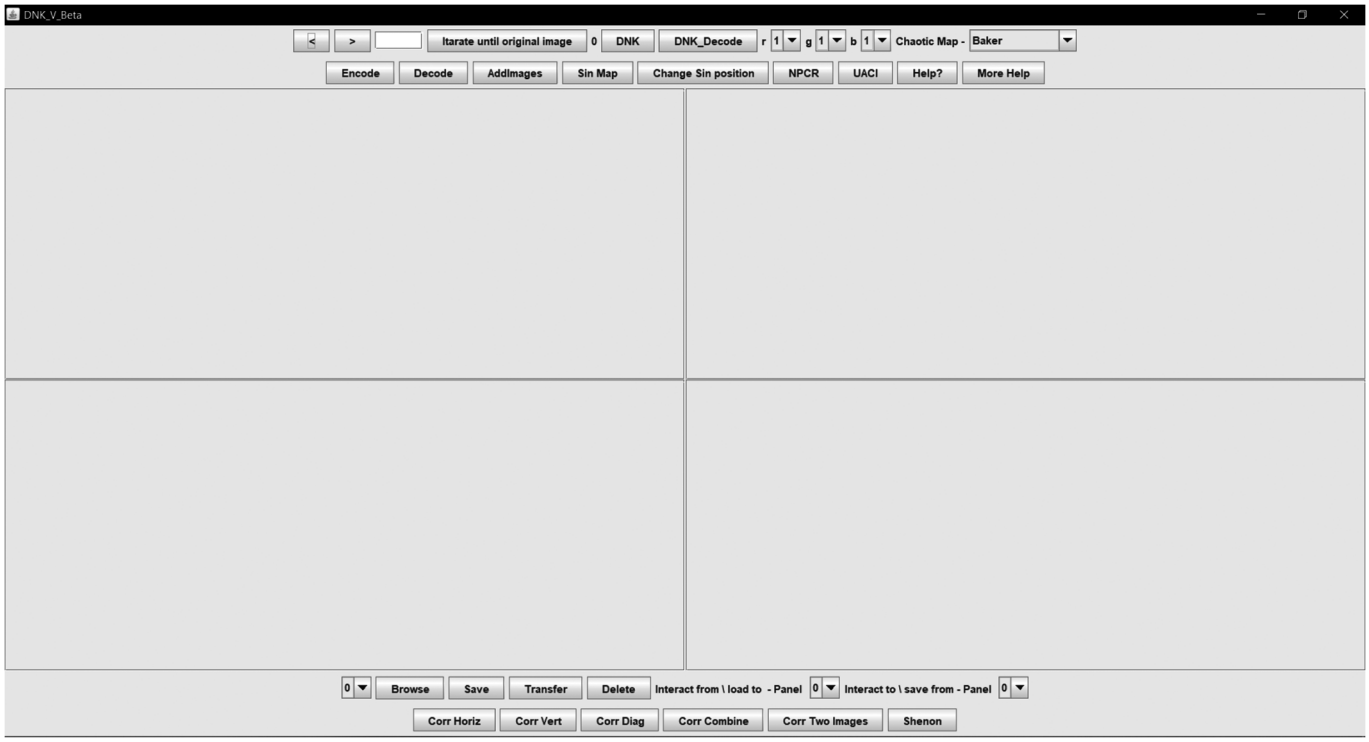


Рис. 2. Пользовательский интерфейс программного комплекса

В основе взаимодействия лежат 4 панели для работы с изображениями в центре. На них можно загрузить изображения с помощью основных кнопок управления внизу экрана, которые включают в себя кнопки:

- Browse — позволяет открыть проводник для выбора изображения, которое пользователь хочет загрузить в программу;
- Save — позволяет открыть проводник для выбора места, куда пользователь хочет сохранить изображение из программы;
- Transfer — позволяет переместить изображение из одной панели в другую;
- Delete — удаляет изображение, очищает панель до изначального состояния;
- Interact from \ load to — Panel — данное поле задает выбор панели для взаимодействия, например, в какую из панелей загрузить изображение, или из какой панели выполнять то или иное действие при хаотических преобразованиях и стеганографии;
- Interact to \ save from — Panel — данное поле задает выбор панели для результатов взаимодействия при хаотических преобразованиях, и стеганографии, а также поле из которого сохраняется на компьютер изображение;
- Corr Horiz, Corr Vert, Corr Diag — рассчитывает горизонтальную, вертикальную, и диагональную корреляцию одного изображения из поля interact from и выводит результат на экран;
- Corr Combine — рассчитывает среднее математическое из трех выше перечисленных значений корреляции изображения;
- Corr Two Images — рассчитывает корреляцию между двумя изображениями;
- Shenon — расчитывает коэффициент энтропии изображения.

Как видно из перечисления выше, нижняя панель изображения состоит из основных элементов управления изображениями, и из основных элементов для расчёта показателей для оценки хаотичности получившихся результатов.

Так же в нижней части есть элемент управления, который не приведен в списке сверху, это переключатель, состоящий из трех полей — 0, 1, 2 значение этого поля регулирует верхнюю панель. Для экономии места, и исключения нагромождения верхней панели по управлению параметрами хаотических преобразований и стеганографических преобразований, верхняя панель разделена на три раздела, которые и переключаются с помощью этого поля. Ниже, на рисунках 3, 4, 5 представлены существующие разделы верхней панели, они разделяются по задачам:

0. Данный раздел состоит из элементов управления для реализации хаотических преобразований Кота Арнольда, Бейкера, Синусной карты, шифрования ДНК, а также вычисления параметров NPCR и UACI изображения. С помощью этого раздела были проведены первые исследования, и написана статья [3]

1. Раздел под цифрой 1 посвящен реализации двух генераторов ключей Хаотической системы скрытого ат-

Рис. 3. Раздел 0 — Хаотические преобразования

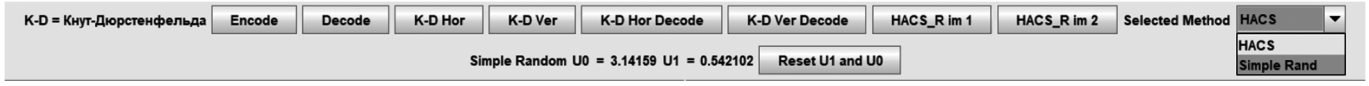


Рис. 4. Раздел 1 — генераторы ключей HACS, Simple Rand и алгоритм перестановки KD

Рис. 5. Раздел 2 — стеганографические методы

трактора (HACS), Simple Rand, а также реализации системы шифрования изображения на их основе с использованием алгоритма перестановки Кнута-Дюрстенфельда, подробнее они описаны в статье [4].

2. Раздел 2 реализует три стеганографических алгоритма: HUGO, HUGO +— 1, и LSB, также реализован выбор цвета пикселя r, g, b для встраивания, и количество битов от байта, использующихся для встраивания. Данный раздел был использован в статьях [5, 6].

Выводы

В результате проведенного исследования был разработан программный комплекс, предназначенный для решения актуальных задач в области стеганографии и хаотических преобразований. Основное внимание уделено созданию гибкого и удобного инструмента для работы с хаотическими картами, которые обладают высокой эффективностью при построении стегосистем. Реализованные алгоритмы включают такие преобразования, как Карта Арнольда, Карта Бейкера, ДНК-преобразования и синусоидальные карты, что позволяет комплексно подойти к процессу кодирования, декодирования и анализа скрытых данных.

Особенностью данного комплекса является интуитивно понятный пользовательский интерфейс, который предоставляет возможность как начинающим исследователям, так и опытным специалистам эффективно работать с различными методами хаотических преобразований. Гибкость интерфейса позволяет адаптировать программу под конкретные исследовательские задачи, включая подбор параметров преобразований, настройку метрик и тестирование моделей стегосистем.

Кроме того, в программный комплекс интегрированы инструменты для оценки характеристик стегосистем на основе таких метрик, как NPCR, UACI, корреляция соседних пикселей и энтропия. Эти метрики предоставляют возможность детального анализа устойчивости и качества скрытых данных, что является важным аспектом при разработке современных стеганографических методов.

Практическая значимость данного исследования заключается в том, что разработанный программный комплекс может использоваться как для научных исследований, так и для образовательных целей. Программа предоставляет исследователям инструмент для углубленного изучения процессов скрытой передачи данных, а также платформу для тестирования новых идей и алгоритмов.

В дальнейшем возможна доработка программного комплекса за счет расширения функционала. Например, интеграция дополнительных хаотических карт, улучшение визуализации результатов анализа, а также добавление новых метрик, направленных на оценку устойчивости к различным видам атак. Это позволит значительно увеличить потенциал комплекса и расширить его сферу применения.

Таким образом, предложенный программный комплекс является ценным вкладом в развитие методов скрытой передачи данных, предоставляя исследователям мощный инструмент для анализа, разработки и тестирования стеганографических систем на основе хаотических преобразований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ван Х., Ван Ю., Чжу Х., Ло С.: Новый хаотический алгоритм шифрования изображений с использованием одноразового ввода, основанный на уровне пикселей и уровне днк. Оптика и лазеры в технике 125, 105851 (2020). https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2019.105851 (10)
2. Головков Е.В. Арнольд, Бейкер, ДНК и хаотический синус — идеальный квартет для шифрования данных в 5G приложениях Интернета вещей / Е.В. Головков, А.И. Грохотов, В.Н. Кустов // Анализ и синтез в современной науке: сборник статей международной научной конференции, Кингисепп, 20 сентября 2023 года. — Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2023. — С. 34–50. — DOI 10.37539/230920.2023.23.40.003. — EDN NSYLQM.
3. Кустов В.Н. Программная модель маскировки скрытого сообщения в задачах стеганографии / В.Н. Кустов, А.И. Грохотов, Е.В. Головков // Интеллектуальные технологии на транспорте. — 2022. — № 1(29). — С. 45–57. — DOI 10.24412/2413–2527-2022-129-45-57. — EDN NAVAQO.
4. Головков Е.В. Гиперхаос HACS, Кнут и Дюрстенфельд обеспечивают гиперстойкость шифрования цветных изображений / Е.В. Головков, А.И. Грохотов, В.Н. Кустов // Анализ и синтез в современной науке: сборник статей международной научной конференции, Кингисепп, 20 сентября 2023 года. — Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2023. — С. 51–62. — DOI 10.37539/230920.2023.31.72.004. — EDN LLYLDM.
5. Кустов В.Н. Имитационная программная модель ⊕HUGO стегосистемы / В.Н. Кустов, А.И. Грохотов, Е.В. Головков // Интеллектуальные технологии на транспорте. — 2021. — № 4(28). — С. 46–56. — DOI 10.24412/2413–2527-2021-428-46-56. — EDN REUUZA.
6. Kustov V.N. A Simulation Software Model of the ⊕HUGO Stegosystem / V.N. Kustov, A.I. Grokhotov, E.V. Golovkov // Интеллектуальные технологии на транспорте. — 2022. — No. 3(31). — P. 25–36. — DOI 10.24412/2413–2527-2022-331-25-36. — EDN WUWLPL.

© Головков Евгений Владимирович (golovkov-ev@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.09

ОБРАБОТКА НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА АЛЬТЕРНАТИВ

Гончаров Константин Александрович
аспирант, ФГОБУВО «Финансовый Университет при Правительстве Российской Федерации»
goncharovkostya.1997@gmail.comu

Аннотация. В современных условиях с динамично развивающейся сферой информационных технологий искусственного интеллекта организация способна существенно усилить свои позиции на рынке и значительно оптимизировать внутренние процессы, внедрив информационные системы соответствующей направленности. Способность автоматизированной информационной системы обрабатывать нечеткие данные и работать с нечеткой логикой позволяет смело причислить данную систему к классу систем искусственного интеллекта, поскольку мыслительная деятельность человека и процесс познания нечасто связаны с четкими определениями границ истины и четкими данными. В качестве математического ядра автоматизированной интеллектуальной системы может использоваться аппарат многокритериального анализа альтернатив — универсального механизма, позволяющего математически вычислить и обосновать преимущества одного варианта решения или выбора над другим. Использование математического аппарата многокритериального анализа альтернатив позволяет причислить автоматизированную систему к классу систем поддержки принятия решений. Соответственно, возможность обработки нечеткой информации в системе поддержки принятия решений способно максимально имитировать процесс принятия решений лицом, ответственным за принятия управленческого решения. В данной статье был проведен анализ возможности применения автоматизированных средств обработки и анализа нечеткой информации при решении задач многокритериального анализа альтернатив.

Ключевые слова: нечеткая информация, многокритериальный анализ, функция принадлежности, автоматизированные системы, искусственный интеллект, ANFIS.

PROCESSING OF FUZZY DATA IN AUTOMATED SYSTEMS FOR SOLVING PROBLEMS OF MULTICRITERIAL ANALYSIS OF ALTERNATIVES

K. Goncharov

Summary. In modern conditions with a dynamically developing sphere of information technologies of artificial intelligence, the organization can significantly strengthen its position in the market and significantly optimize internal processes by implementing information systems of the corresponding direction. The ability of the automated information system to process fuzzy data and work with fuzzy logic allows us to safely classify this system as an artificial intelligence system, since human thought activity and the process of cognition are rarely associated with clear definitions of the boundaries of truth and clear data. The apparatus of multi-criteria analysis of alternatives can be used as the mathematical core of the automated intelligent system — a universal mechanism that allows you to mathematically calculate and justify the advantages of one solution or choice over another. The use of the mathematical apparatus of multi-criteria analysis of alternatives allows us to classify the automated system as a decision support system. Accordingly, the ability to process fuzzy information in the decision support system can maximally imitate the decision-making process by a person responsible for making a management decision. This article analyzes the possibility of using automated tools for processing and analyzing fuzzy information when solving problems of multi-criteria analysis of alternatives.

Keywords: fuzzy information, multicriteria analysis, membership function, automated systems, artificial intelligence, ANFIS.

Введение

В современном мире многокритериальный анализ альтернатив становится неотъемлемой частью принятия решений в различных областях, таких как экономика, управление, инженерия и экология. Этот процесс требует обработки и анализа данных, которые часто характеризуются неопределенностью и субъективностью. Одним из таких типов данных являются нечеткие данные, которые описываются с использованием теории нечетких множеств и позволяют моделировать неопределенности и неточности в оценках и критериях.

Нечеткие данные могут быть особенно сложными для обработки в контексте автоматизированных систем, предназначенных для решения задач многокритериального анализа. В традиционных системах, работающих с четкими данными, алгоритмы и методы, применяемые для анализа, могут быть неэффективны или недостаточно точны при работе с нечеткими данными [2, с. 315]. Это подчеркивает необходимость разработки новых подходов и алгоритмов, способных эффективно обрабатывать и анализировать нечеткие данные в рамках автоматизированных систем.

Цель данной статьи — исследовать методы обработки нечетких данных в автоматизированных системах решения задач многокритериального анализа альтернатив. В статье будет составлена методология и приведен конкретный пример обработки нечеткой информа-

ции при решении задач многокритериального анализа альтернатив автоматизированными средствами. Также будут проанализированы примеры практического применения этих методов и обсуждены проблемы и вызовы, связанные с их реализацией.

Задачи, которые будут решены для достижения исходной цели данной исследовательской работы:

— Исследование технологий анализа данных в нечеткой информационной среде.
— Составление методологии сведения задачи принятия управленческого решения к задаче многокритериального анализа альтернатив с нечеткой информационной базой.
— Анализ применимости автоматизированных информационных систем анализа нечетких данных для решения задач данной направленности.

Объектом исследования данной исследовательской работы является процесс принятия решений в условиях нечеткости информационной среды.

Предметом исследования являются автоматизированные системы поддержки принятия решений.

Нечеткие данные

Нечеткие данные представляют собой информацию, которая не может быть точно описана с использованием стандартных бинарных (чётких) категорий. Они возникают из-за неопределенности, неточности и субъективности, присущих человеческому восприятию и оценке. В отличие от четких данных, которые могут быть представлены в виде определенных значений или точных чисел, нечеткие данные описываются с помощью понятий и выражений, которые могут принимать различные степени истинности.

Основные характеристики нечетких данных:

Неопределенность: Нечеткие данные возникают из-за недостаточной информации или несоответствия между ожиданиями и реальными условиями.

Субъективность: Интерпретация нечетких данных может зависеть от личных оценок и предположений.

Гибкость: Нечеткие данные позволяют моделировать и анализировать явления, которые не могут быть строго описаны числовыми значениями или бинарными категориями.

Мягкость границ: В нечетких данных границы между категориями или состояниями не являются строго определенными.

Степени принадлежности: В теории нечетких множеств элементы могут принадлежать множеству с определенной степенью. Неопределенность в правилах: Нечеткие системы могут использовать правила, которые имеют формы, подобные «если..., то...», но с нечеткими условиями.

Вместо строгих математических значений, нечеткие данные часто описываются с помощью функций принадлежности и правил, которые позволяют моделировать и обрабатывать неопределенности и вариабельности в данных [4, с. 520]

Многокритериальный анализ альтернатив

Многокритериальный анализ альтернатив — это процесс оценки и выбора наилучшего варианта из множества альтернатив на основе нескольких критериев. Этот подход используется, когда выбор не может быть сделан на основе одного критерия, а требует учета нескольких аспектов, которые могут быть конфликтующими или взаимосвязанными.

Основные понятия:

Альтернативы: Конкретные варианты или решения, которые подлежат оценке и сравнению. Например, при выборе автомобиля альтернативами могут быть разные модели и марки автомобилей.

Критерии: Параметры или характеристики, по которым оцениваются альтернативы. Критерии могут быть как количественными (например, стоимость, расход топлива), так и качественными (например, комфорт, надежность).

Вес критерия: отражает важность критерия в процессе принятия решения. Вес критерия обычно определяется в виде числового значения и может изменяться в зависимости от контекста и предпочтений принимающего решение.

Функции принадлежности: В случае работы с нечеткими данными функции принадлежности описывают степень соответствия альтернативы определенному критерию. Они помогают преобразовать нечеткие оценки в числовые значения для дальнейшего анализа.

Индекс полезности: Обобщенная мера, отражающая, насколько каждая альтернатива удовлетворяет всем критериям. Это может быть итоговая оценка, вычисляемая на основе весов критериев и значений альтернатив по этим критериям.

Технологии анализа нечетких данных

ANFIS. ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System) — это адаптивная система нечеткого вывода,

объединяющая принципы нечеткой логики и нейронных сетей. Она предназначена для решения задач моделирования и прогнозирования, когда отношения между входными и выходными переменными сложны и трудно формализуемы традиционными методами.

Структура ANFIS:

— Входной слой: Получает входные значения и обрабатывает их через функции принадлежности.
— Слой правил: Применяет нечеткие правила к входным данным.
— Слой нормализации: Нормализует выходные значения по правилам.
— Слой дефазификации: Преобразует нечеткие выходные значения в точные значения.
— Выходной слой: Выдает итоговый результат на основе дефазифицированных значений.

Данную технологию возможно применить для решения задач многокритериального анализа альтернатив. Для успешного решения задачи многокритериального анализа альтернатив с нечеткими данными необходимо предоставить ANFIS набор данных для обучения, в котором целевой переменной является индекс полезности, на основе которого и происходит ранжирование альтернатив, а в качестве входных переменных используются критерии.

Решение прикладной задачи

В качестве практического примера решим задачу выбора оптимального производителя товара определенного вида для поставки в точку продаж. В данном случае данным товаром является красное вино, в котором целевой переменной для предсказания является индекс полезности, то есть оценка качества вина в формате числа, а входными переменными — различные числовые характеристики, такие как содержание алкоголя в продукте, содержание сахара и так далее [1, с. 315]. За счет определения функций принадлежности путем исследования предметной области и консультаций с экспертом, ответственным за принятие решений, задаются функции принадлежности каждой из входных переменных, позволяющих персонифицировать результаты обучения системы на основе суждений лица, принимающего решение.

Технологии, примененные в процессе решения задачи: Язык программирования Python, библиотеки scikit-fuzzy, pytorch, tensorflow, s-anfis, seaborn, pandas. Такой набор библиотек является самым распространенным при решении задач анализа данных, а библиотека s-anfis содержит реализацию системы ANFIS.

Ниже представлена визуализация функций принадлежности для каждой из входных переменных, сделанная с помощью библиотеки seaborn для языка Python.

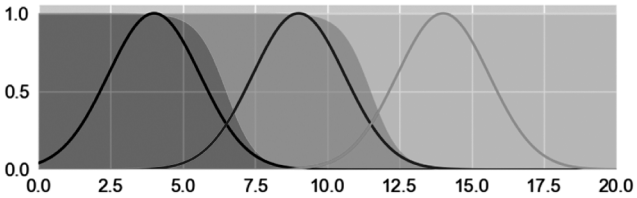


Рис. 1. Функция принадлежности для переменной «Остаточный сахар»

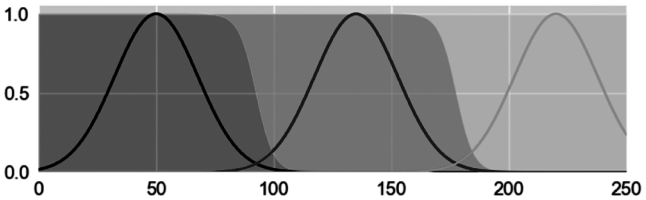


Рис. 2. Функция принадлежности для переменной «Содержание диоксида серы»

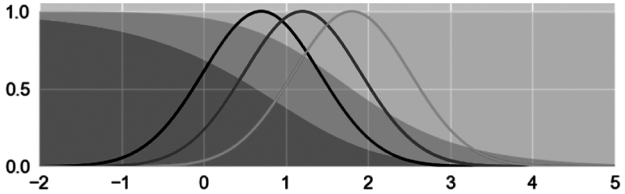


Рис. 3. Функция принадлежности для переменной «Кислотность»

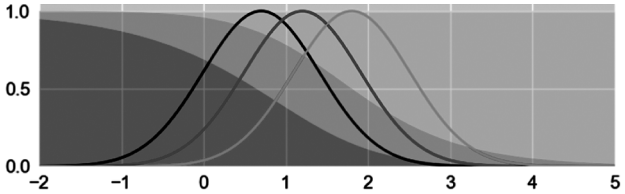


Рис. 4. Функция принадлежности для переменной «Содержание сульфатов»

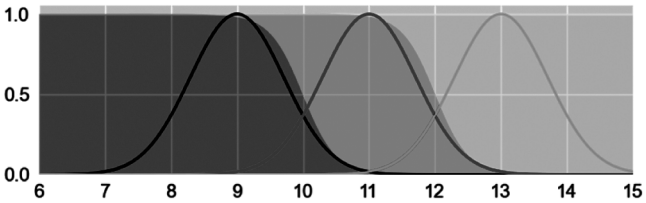


Рис. 5. Функция принадлежности для переменной «Содержание алкоголя в напитке»

Далее, необходимо передать все параметры, функции принадлежности и составить прогностическую модель, работающую на основе технологии ANFIS. После обучения кривые обучения и валидации принимают следующий вид (см. рис. 6).

Программная реализация доступна по ссылке https://github.com/KonstantinGonch/ANFIS_Wine

Вывод

Итак, в данной исследовательской работе был проведен анализ применимости такой технологии, как ANFIS,

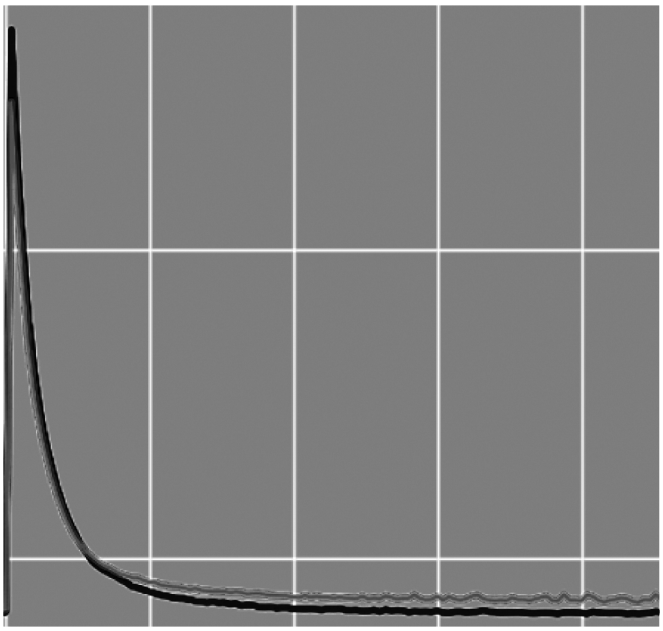


Рис. 6. Итоговые кривые обучения и валидации

при решении задач многокритериального анализа альтернатив в нечеткой информационной среде и составлена методология решения задач многокритериального анализа с нечеткими данными с помощью технологии ANFIS. В целом, стоит отметить, что нечеткая логика предоставляет мощные инструменты для обработки сложных данных в многокритериальном анализе, улучшая как точность, так и интерпретируемость решений [3, с. 153]. Тем не менее, успешное применение требует учета вычислительных затрат и правильной настройки моделей, чтобы обеспечить наилучшие результаты в автоматизированных системах анализа альтернатив.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яхъяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: учебное пособие, 2-е изд., испр. — М.: Интернет-Ун-т Информ. Технологий: Бином. Лаборатория знаний, 2012. — 315 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. — 798 с.
3. Усков А.А. Системы с нечеткими моделями объектов управления. Монография. — Смоленск: СФРУК, 2013. — 153 с.: ил.
4. Рутковский Лешек. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. — М.: Горячая линия — Телеком, 2010. — 520 с.

© Гончаров Константин Александрович (goncharovkostya.1997@gmail.comu)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.10

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОПУЛЯРНЫХ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА, АНАЛИЗА И ФИЛЬТРАЦИИ ИНФОРМАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF POPULAR ALGORITHMS FOR SEARCHING, ANALYZING, AND FILTERING INFORMATION USING INTELLIGENCE SYSTEMS

K. Gorbunov
S. Ivanov

Summary. Modern companies face the challenge of finding relevant instructions in their knowledge bases, resulting in the need to process many incoming customer requests. This issue demands optimal solutions under limited IT resources and regulatory constraints. This article presents a comparative analysis of the performance of search and information filtering algorithms on small datasets within business constraints. The study compares algorithms such as TF-IDF, Bag of Words, Word2Vec, and FastText. The results of the conducted experiment demonstrated that the most efficient algorithm for small data samples is an improved TF-IDF algorithm, enhanced with text preprocessing functionality, hyperparameter optimization, and a hybrid approach incorporating KNN. The obtained results allowed for an increase in the accuracy of information retrieval without significant time loss. Thus, the proposed approach can be adapted to address a wide range of tasks in the field of text information processing.

Keywords: text processing, TF-IDF, Bag of Words, Word2Vec, FastText, search algorithms, machine learning, information filtering, small datasets.

Горбунов Константин Дмитриевич
аспирант, университет ИТМО
gorbunov.kostya@bk.ru
Иванов Сергей Евгеньевич
кандидат физико-математических наук, доцент, университет ИТМО
serg_ivanov@itmo.ru

Аннотация. Современные компании сталкиваются с проблемой поиска релевантных инструкций в базе знаний, вследствие чего возникает необходимость обработки большого количества входящих клиентских обращений. Данная проблема требует оптимальных решений в условиях ограниченных IT-ресурсов и законодательных ограничений. В данной статье представлен сравнительный анализ работы алгоритмов поиска и фильтрации информации на малых датасетах в условиях бизнес-ограничений. Исследование построено на сравнении таких алгоритмов, как TF-IDF, Bag of Words, Word2Vec и FastText. Результаты проведенного эксперимента показали, что наиболее эффективным алгоритмом для применения на малых выборках данных стал доработанный алгоритм TF-IDF, дополненный функционалом по предобработке текста, оптимизации гиперпараметров и гибридным подходом с использованием KNN. Полученные результаты позволили увеличить точность поиска информации без существенной потери времени. Таким образом, предложенный подход может быть адаптирован для решения широкого круга задач в сфере обработки текстовой информации.

Ключевые слова: обработка текста, TF-IDF, Bag of Words, Word2Vec, FastText, алгоритмы поиска, машинное обучение, фильтрация информации, малые датасеты.

Введение

Обработка и классификация обращений клиентов является достаточно трудоемкой задачей для организаций, особенно если имеется большой поток входящих обращений. Несмотря на то, что у компаний может быть создана собственная база знаний по наиболее распространенным вопросам, стандартных алгоритмов поиска по ней может быть недостаточно для эффективного самостоятельного поиска [1].

Данную проблему подтвердили и проведенные глубинные интервью среди компаний, у которых есть собственная база знаний, а также отдел абонентской поддержки. Респонденты ответили, что в среднем на обработку 1 обращения у специалистов уходит 15 минут, из которых около 7 минут уходит на классификацию его в нужный отдел.

Цель и задачи исследования

Целью исследования является определение оптимального алгоритма поиска, анализа и фильтрации информации для малых датасетов (до 1000 записей, в каждой из которых содержится до 5 признаков) с учетом бизнес-ограничений, а также ограничений ИТ-ресурсов.

Данные параметры датасета были выбраны, поскольку такие характеристики были наиболее популярны у опрошенных организаций.

Задачи исследования определены следующие:

1. Определение бизнес-ограничений
2. Обзор литературы
3. Обзор методов поиска без применения систем интеллектуализации
4. Обзор методов поиска с применением систем интеллектуализации
5. Определение методологии исследования
6. Проверка работы методов на выбранном датасете
7. Доработка наиболее эффективного алгоритма поиска под выбранный датасет
8. Валидация полученных результатов

Бизнес-ограничения

Рассматривая бизнес-ограничения, следует отметить следующие пункты:

1. Федеральный закон «О персональных данных» №152-ФЗ. Данный законопроект включает в себя необходимость соблюдения требований законодательства в отношении обработки, хранения и передачи персональных данных. В случае его нарушения компании грозят штрафы, а также репутационные потери. В связи с этим, решения, использующие программный интерфейс API многих популярных LLM-моделей и, в особенности, хранящие пользовательские данные за рубежом, могут не подойти.
2. Ограниченность ресурсов ИТ-инфраструктуры. Включает в себя ограниченные возможности по обновлению аппаратного обеспечения и программного обеспечения.
3. Необходимость оперативной установки и интеграции с существующими системами. Длительные сроки установки новых решений могут блокировать развитие бизнеса. Помимо этого, у многих компаний есть потребность в совместимости между новыми и текущими или устаревшими системами.
4. Возможность масштабирования. Потребность в гибких решениях, которые могут адаптироваться к изменяющимся условиям рынка.

Обзор литературы

В современных алгоритмах, не использующих искусственный интеллект, поиск осуществляется преимущественно за счет использования SQL-оператора LIKE или же регулярных выражений. SQL-оператор LIKE — это наиболее простой способ фильтрации и поиска по подстроке. С помощью регулярных выражений можно очистить окончания слов и убрать пунктуацию, но поиск также будет осуществляться по подстроке.

Среди преимуществ использования таких классических алгоритмов можно выделить высокую скорость, а также отсутствие необходимости дополнительных интеграций. Однако, данные алгоритмы требуют точного совпадения слов, учитывают стоп-слова, пунктуацию и другие синтаксические конструкции при поиске и, наоборот, не учитывают контекст.

В исследовании [2] рассматриваются популярные алгоритмы обработки естественного языка с применением искусственного интеллекта, среди которых можно выделить следующие:

1. TF-IDF и косинусное сходство.
2. Bag of Words
3. Word2Vec
4. FastText

В статье [3] подробно рассмотрен принцип работы алгоритма TF-IDF и косинусное сходство. TfidfVectorizer создает векторное представление текстов с помощью корпуса слов, при этом учитывая как частоту термина в конкретном документе, так и его распространенность среди всех документов.

Работа алгоритма Bag of Words подробно изложена в статье [4]. На основе обучающего текстового корпуса BoW создает словарь, который содержит уникальные слова (или токены) из всех документов. Каждому документу соответствует вектор фиксированной длины, в котором элементы вектора представляют бинарное присутствие каждого слова из словаря в этом документе.

Основная идея Word2Vec, описанная в статье [5], заключается в том, что слова, имеющие схожие значения, будут близки друг к другу в векторном пространстве. Это позволяет моделям более эффективно обрабатывать тексты, учитывая семантические связи между словами.

Рассматривая модель FastText, стоит сказать, что в отличие от Word2Vec, который рассматривает каждое слово как единичный токен, FastText разбивает слова на n-граммы (последовательности символов фиксированной длины), FastText может учитывать частичные формы слов, что особенно полезно для языков с множеством склонений и спряжений [6].

Методология исследования

Оборудование, используемое для проведения исследования имеет следующие технические характеристики:

1. Данные процессора: 4 ядра с тактовой частотой 3 ГГц
2. Объем оперативной памяти: 4 ГБ

Датасет, используемый в исследовании, содержит 350 инструкций из базы знаний ИТ-компании, структура которой представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Структура таблицы базы знаний ИТ-компании

Название поля	Тип данных	Описание
ID	integer	Первичный ключ
name	varchar	Наименование инструкции
description	varchar	Детальное описание инструкции

Для валидации работы алгоритмов используется история клиентских запросов в поддержку, структура которых представлена в таблице 2. Поле knowledge_id служит для связи запроса с релевантной инструкцией из базы знаний. Всего в таблице содержится 300 строк.

Таблица 2.

Структура таблицы базы знаний ИТ-компании

Название поля	Тип данных	Описание
ID	integer	Первичный ключ
request_text	varchar	Текст запроса
knowledge_id	varchar	ID инструкции в базе знаний

Для сравнительного анализы был определен следующий перечень алгоритмов:

1. TF-IDF и косинусное сходство.
2. Bag of Words
3. Word2Vec
4. FastText

Для определения наиболее эффективного алгоритма поиска среди алгоритмов были составлены следующие критерии сравнения:

1. Accuracy
2. Precision
3. Recall
4. F1 Score
5. Среднее время обработки 1 запроса, секунд

На рисунке 1 приведены результаты метрик Accuracy, Precision и Recall для рассмотренных алгоритмов. На рисунке 2 приведены результаты метрик F1, а также среднее время обработки запроса.

Проанализировав результаты работы алгоритмов, был сделан вывод, что оптимальный алгоритм поиска для малых датасетов — TF-IDF и косинусное сходство.

Для достижения наилучших показателей выбранный алгоритм TF-IDF был доработан и дополнен следующим функционалом:

1. Предобработка текста
2. Лемматизация или стемминг
3. Удаление редко встречающихся и слишком распространенных слов (стоп-слов)
4. Корректировка гиперпараметров TF-IDF, базовый метод был переопределен для использования в нем логарифмических функций
5. На уровне частоты терминов (TF): использование логарифмов для уменьшения влияния длинных документов с большим количеством повторяющихся слов по формуле, представленной на рисунке 3.
6. На уровне IDF: введение сглаживания по формуле, представленной на рисунке 4. N — общее количе-

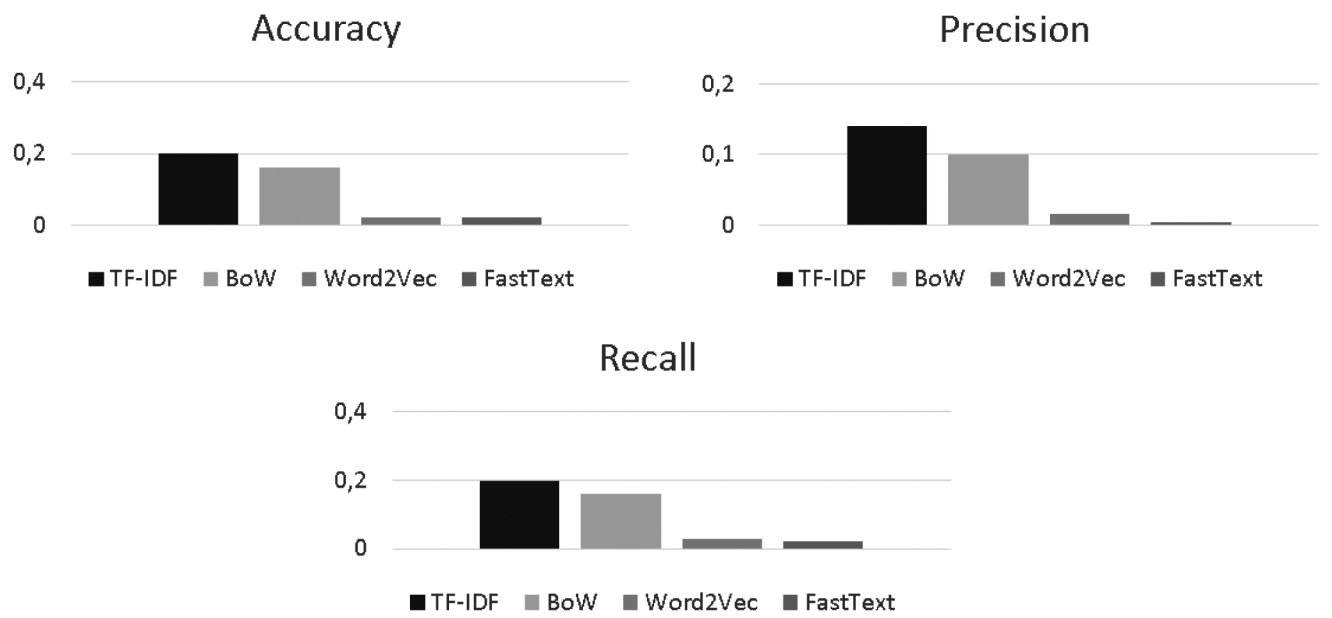


Рис. 1. Результаты метрик Accuracy, Precision и Recall

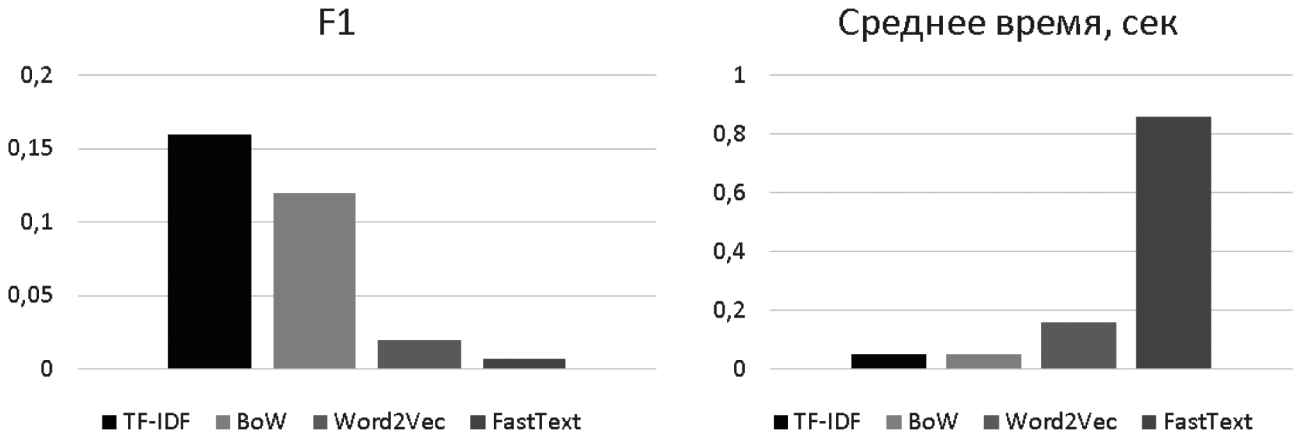


Рис. 2. Результаты метрик F1, Среднее время

ство документов, df(t)— количество документов, содержащих термин t.

7. Учет контекста с гибридными методами. Использование TF-IDF в сочетании с LSA (Latent Semantic Analysis), чтобы дополнить признаки скрытыми тематиками [7].
8. Использование TF-IDF в паре с KNN (Метод k-ближайших соседей) вместо косинусного сходства. [8]
9. Оптимизация гиперпараметров с помощью фреймворка Optuna [9].

$$\log(1 + tf)$$

Рис. 3. Формула расчета TF

$$idf(t) = \log(N + 1df(t) + 1) + 1$$

Рис. 4. Формула для расчета IDF

Оптимальные гиперпараметры, полученные с помощью фреймворка Optuna, для алгоритма knn:

1. radius: 6.02 (расстояние вокруг точки, в пределах которого будут рассматриваться все ближайшие соседние точки)
2. algorithm: auto (тип алгоритма, используемый для построения модели ближайших соседей)
3. metric: cosine (указывает, как модель измеряет расстояние между точками, в данном случае — косинусное расстояние)

На рисунке 3 представлены результаты метрик accuracy и среднего времени выполнения запроса для доработанных версий алгоритма TF-IDF в сравнении с базовой версией алгоритма. Как видно из графиков, лучшей метрики accuracy удалось достичь при комбинированном подходе — предварительной предобработки текста, а также использовании алгоритма TF-IDF в паре с алгоритмом KNN.

Выводы

В ходе проведения исследования были успешно выполнены следующие задачи:

1. Определены бизнес-ограничения.
2. Сделан обзор литературы.
3. Проверена работа изученных методов на выбранном датасете.
4. Определен и доработан наиболее эффективный алгоритм поиска на выбранном датасете.
5. Сделана валидация полученных результатов.

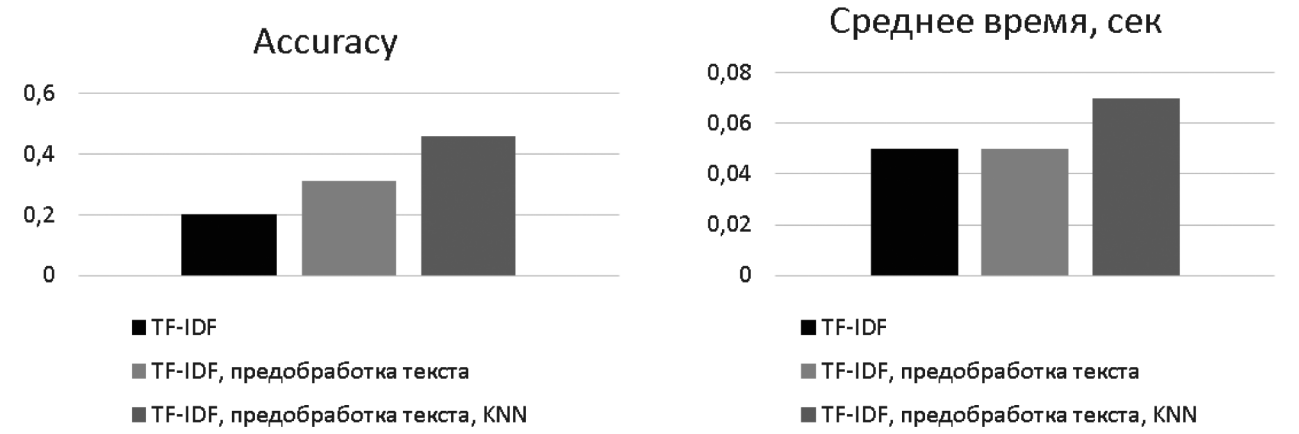


Рис. 3. Результаты метрик Accuracy, Среднее время

Цель исследования выполнена успешно, определен оптимальный алгоритм поиска, анализа и фильтрации информации для малых датасетов с учетом бизнес-ограничений, а также ограничений ИТ-ресурсов. Данным алгоритмом стал доработанный алгоритм TF-IDF.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методы конкуренции в бизнесе. — Текст: электронный // Официальный сайт издателя: https://planfact.io/ URL: https://planfact.io/blog/posts/metody-konkurencii-v-biznese (дата обращения: 27.03.2021).
2. Обзор методов автоматической обработки текстов на естественном языке / С.Д. Белов, Д.П. Зрелова, П.В. Зрелов, В.В. Кореньков // Системный анализ в науке и образовании: сетевое научное издание. — 2020. — № 3. — С. 8–22. — URL: http://sanse.ru/download/401.
3. Извлечение признаков из текстовых данных с использованием TF-IDF. — Текст: электронный // Официальный сайт издателя: https://habr.com/ URL: https://habr.com/en/companies/otus/articles/755772/ (дата обращения: 10.12.2024).
4. Кревский М.И., Бождай А.С. Сложные векторные модели бизнес-процессов в задаче классификации // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2023. № 3. С. 142–154. doi: 10.21685/2227–8486-2023-3-10
5. Жаксыбаев Д.О., Мизамова Г.Н. Алгоритмы обработки естественного языка для понимания семантики текста. Труды ИСП РАН, том 34, вып. 1, 2022 г., стр. 141–150. DOI: 10.15514/ISPRAS–2022–34(1)–10
6. Гукасян Ц.Г. Векторные модели на основе символьных н-грамм для морфологического анализа текстов. Труды ИСП РАН, том 32, вып. 2, 2020 г., стр. 7–14. DOI: 10.15514/ISPRAS–2020–32(2)–1
7. Лыченко Н.М., Сороковая А.В. Сравнение эффективности методов векторного представления слов для определения тональности текстов. Математические структуры и моделирование. 2019. № 4(52). С. 97–110. УДК 004.89. DOI 10.24147/2222–8772.2019.4.97–110.
8. Осипова Ю.А., Лавров Д.Н. Применение кластерного анализа методом К-средних для классификации текстов научной направленности. // Математические структуры и моделирование. // 2017. № 3(43). С. 108–121. УДК 004.93. DOI: 10.25513/2222–8772.2017.3.108–121.
9. Akiba T. [et al.]. Optuna: A next generation hyperparameter optimization framework // Proceedings of the 25th ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery & data mining. 2019. P. 2623–2631.

© Горбунов Константин Дмитриевич (gorbunov.kostya@bk.ru); Иванов Сергей Евгеньевич (serg_ivanov@itmo.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.11

ПОСТРОЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ И СЕРВИСОВ В СОЦИАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ (НА ПРИМЕРЕ КАРТЫ БОЛЕЛЬЩИКА)

BUILDING AN ONTOLOGICAL MODEL OF THE USE OF INFORMATION RESOURCES AND SERVICES IN SOCIAL MANAGEMENT (ON THE EXAMPLE OF A FAN CARD)

B. Goryachkin
A. Kanaev
O. Parsheva

Summary. *Problem statement*. Information resources and services play a key role in modern social management, but their effective utilization is often hampered by insufficient data structuring and integration. To solve this problem, an ontological model is needed to formalize knowledge about the subject area and ensure semantic compatibility of different information elements.
Goal. To analyse the features of using modern information resources and services in social management and build an ontological model to improve the understanding and application of a particular service by key actors.
Results. The methodological limitations are revealed and the understanding of the phenomena under study is deepened by means of analytical processing of research results of related sciences. The construction of conceptual and categorical apparatus of the considered subject area, component structure of information support is realised; classifications for information resources and modern information technologies are derived. The peculiarities of using modern information resources and services in social management are analysed and an ontological model of such use is built on the example of a fan card.
Practical significance. The construction of the ontological model is a way to improve the information support of social management, optimize the work of specialized bodies and improve the quality of social services provided to citizens. Adapted modeling methodology and derived classifications can be used to improve information processes in the social sphere.

Keywords: information resource, information system, information service, ontological model, social management, fan card.

Горячкин Борис Сергеевич
кандидат технических наук, доцент,
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
bsgor@mail.ru
Канаев Алексей Александрович
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
alekseykanaev@mail.ru
Паршева Олеся Александровна
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
parsheva.alesya@mail.ru

Аннотация. *Постановка проблемы*. Информационные ресурсы и сервисы играют ключевую роль в современном социальном управлении, однако их эффективное использование часто затруднено из-за недостаточной структурированности и интеграции данных. Для решения этой проблемы необходима онтологическая модель, которая формализует знания о предметной области и обеспечит семантическую совместимость различных информационных элементов.
Цель. Проанализировать особенности использования современных информационных ресурсов и сервисов в социальном управлении и построить онтологическую модель для улучшения понимания и применения конкретного сервиса ключевыми акторами.
Результаты. Выявлены методологические ограничения и углублено понимание исследуемых явлений путём аналитической обработки результатов исследований смежных наук. Реализовано построение понятийно-категориального аппарата рассмотренной предметной области, компонентная структура информационного обеспечения; выведены классификации для информационных ресурсов и современных информационных технологий. Проанализированы особенности использования современных информационных ресурсов и сервисов в социальном управлении и построена онтологическая модель такого использования на примере карты болельщика.
Практическая значимость. Построение онтологической модели является способом улучшения информационного обеспечения социального управления, оптимизации работы профильных органов и повышения качества предоставляемых социальных услуг гражданам. Адаптированная методология моделирования и выведенные классификации могут быть использованы для совершенствования информационных процессов в социальной сфере.

Ключевые слова: информационный ресурс, информационная система, информационный сервис, онтологическая модель, социальное управление, карта болельщика.

Введение

В современном обществе, характеризующемся стремительным ростом объемов информации (около 330 миллионов терабайт данных в день [1]) и комплексной взаимосвязью социальных процессов, организация информационного обеспечения социального управления становится ключевым фактором его реализации. Традиционные подходы к управлению, основанные на разрозненных данных и интуитивных решениях, все чаще оказываются неэффективными. Потребность в структурировании, систематизации и осмыслении имеющейся информации выходит на первый план для принятия обоснованных управленческих решений [2].

Онтологическое моделирование, позволяющее представить информационные ресурсы и сервисы в виде взаимосвязанных концепций и отношений, открывает новые возможности для интеграции данных из различных источников, выявления скрытых закономерностей и поддержки процессов принятия решений [3]. В частности, в сфере социального управления, где необходимо учитывать множество разнородных факторов, использование онтологических моделей может существенно повысить эффективность планирования, мониторинга и оценки качества социальных программ.

Построение понятийно-категориального аппарата исследования

Под информационным обеспечением в общем смысле понимают предоставление необходимых информационных материалов, ресурсов и инструментов, которые позволяют конкретным лицам, организациям или системам принимать эффективные решения.

Согласно более точному определению [4], информационное обеспечение — есть важнейший элемент информационной системы, который сочетает в себе единую систему классификации и кодирования информации, унифицированные системы документации, схемы информационных потоков в организации, а также методику построения базы данных (рис. 1).

В свою очередь, информационные ресурсы определяются как данные об окружающем нас мире, зафиксированные с помощью какого-либо языка на каком-либо носителе (в виде электронных или бумажных документов, баз данных, баз знаний, алгоритмов, компьютерных приложений и прочего [6]).

Действительно, информационные ресурсы классифицируются по отраслям знания, например медицина, экономика или образование. Организационная структура определяет разделение ресурсов на внутренние и внешние, а также по функциональным назначениям,

Рис. 1. Структура информационного пространства [5]

как, например, управление или маркетинг. Типология баз данных включает реляционные, объектно-ориентированные и NoSQL базы. Интернет выступает как глобальное хранилище, расширяя доступность и разнообразие ресурсов. Таким образом, сочетание этих и иных факторов формирует сложную и многоуровневую классификацию [7].

Основное предназначение информационных ресурсов — это обеспечение свободного доступа к информации. Вся информация должна быть доступна пользователю посредством компьютерной сети и позволять получить различные знания и навыки во всех сферах жизни.

Информационные ресурсы являются частью информационных систем, т.е. входят в их состав. А на базе информационных систем, соответственно, предоставляются информационные сервисы. Они выступают в качестве комплекса услуг по получению информации, её хранению, обработке и дальнейшей выдаче по запросам.

Переход архитектуры информационной системы от исходной в сервис-ориентированную можно представить следующим образом [8]:

1. Подготовительный этап:
   - Декомпозиция предметной области (определение бизнес-процессов, подпроцессов, сценариев использования).
   - Анализ существующих не объектно-ориентированных систем и преобразование их к компонентной архитектуре.
2. Создание дерева целей сервисной модели для тестирования её полноты (каждой подцели в дальнейшем будет соответствовать определённый сервис).
3. Анализ подсистем, определение того, какие сценарии использования реализуются какими компонентами системы; анализ взаимодействия компонентов и влияния нефункциональных требований на архитектуру системы.
4. Идентификация того, какие компоненты отвечают за какие сервисы, выделение поставщиков услуг и потребителей.
5. Определение интерфейсов каждого компонента.
6. Структуризация компонентов и сервисов на основе применяемых шаблонов архитектуры.
7. Определение программных и технических средств, с помощью которых будет реализован каждый сервис.

Сервис-ориентированная архитектура обеспечивает модульность, повторное использование сервисов и гибкую интеграцию, но может быть сложной в разработке и сопровождении, требуя значительных инвестиций и специализированных знаний. Преимущества заключаются в масштабируемости и устойчивости к отказам отдельных компонентов, но имеет место необходимость тщательно управлять безопасностью и версиями сервисов. Успех перехода к такой архитектуре зависит от правильного баланса между сложностью реализации и получаемой практической пользой.

Специфика информационного обеспечения в социальном управлении

Современное общество сталкивается с растущей сложностью и динамичностью социальных процессов, требующих от органов управления оперативного доступа к актуальной информации и эффективных инструментов для ее анализа [9]. Для решения таких задач и предполагается организация информационного обеспечения, включающего упомянутые ранее информационные ресурсы и сервисы.

Определим социальное управление (рис. 2) как целенаправленное воздействие социальных институтов

Рис. 2. Основные признаки социального управления [10]

и субъектов на социальные процессы и явления для достижения желаемых общественных целей, посредством использования различных методов и инструментов, учитывая при этом особенности социальных систем и интересы различных групп населения.

Тогда отличительные черты информационного обеспечения в данной сфере будут заключаться в:

- Комплексном характере: информация должна охватывать различные аспекты социальной жизни, включая экономику, демографию, здравоохранение, образование, культуру и др.
- Динамичности: информация должна быть актуальной и отражать постоянно меняющиеся социальные условия.
- Многоаспектности: информация должна быть доступна различным пользователям с учетом их профессиональных и личных нужд.
- Конфиденциальности: информация о гражданах должна быть защищена от несанкционированного доступа и использования.

Однако информационное обеспечение само по себе существовало и задолго до появления первых ЭВМ. Толчок к его развитию всегда дают современные информационные технологии, большую востребованность среди которых имеют технологии искусственного интеллекта. Они обеспечивают более точный анализ данных, выявление тенденций и прогнозирование будущих событий в социуме.

Этапы организации информационного обеспечения в системе социального управления обобщённо выглядят так:

1. Определение целей и задач социального управления. Четкое понимание того, что нужно достичь и какие проблемы решать.
2. Анализ потребностей в информации, идентификация ее источников. Выявление необходимых данных для решения поставленных задач и определение того, где их можно получить.
3. Сбор и обработка данных, разработка информационной системы. Создание единой базы данных, включающей как первичную, так и вторичную информацию. Проектирование удобной платформы для хранения, обработки и анализа данных.
4. Внедрение и тестирование системы, обеспечение качества и безопасности данных. Интеграция с существующими системами, проверка работоспособности. Оценка актуальности данных, а также их защита от несанкционированного доступа.
5. Предоставление доступа к информации, обучение и повышение квалификации пользователей. Создание механизмов для предоставления информации, поддержание актуальных знаний и навыков у специалистов.
6. Мониторинг и оценка эффективности использования субъектами и объектами социального управления. Определение степени достижения поставленных целей и выявление проблемных участков.

Особое внимание авторы акцентируют на двух финальных этапах: предпоследний — крайне важен в контексте социального управления (взаимодействие между людьми, система человек-машина уже как следствие); а заключительный — отражает то, о чем нередко забывается на практике (вернуться к истокам и проверить соответствие целям).

Построение онтологической модели

Для формализации знаний о сложных социальных системах, улучшения координации между различными ведомствами и службами, оптимизации предоставления социальных услуг, повышения прозрачности, а также для разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решений необходимо построение онтологических моделей.

Онтологическая модель — это формальное представление знаний о конкретной предметной области. Она описывает сущности (объекты, понятия), их свойства (атрибуты, характеристики) и отношения между ними.

Цель онтологической модели — дать структурированное и ясное представление о предметной области, позволяющее разработать программное обеспечение, построить базы данных, проанализировать процессы и принять обоснованные решения [11]. В контексте социального управления она позволяет выявлять пробелы в информации, дублирование функций, неэффективные процессы и разрабатывать целостные решения для повышения эффективности работы социальных служб и улучшения качества жизни граждан.

Существующие общие онтологии часто не учитывают специфические аспекты социальных процессов, особенности целевой аудитории и контекст конкретных социальных задач. Создание же специализированных моделей «с нуля» позволяет точно отразить взаимосвязи между социальными объектами, услугами и информационными ресурсами, обеспечивая более эффективную поддержку принятия решений и оптимизацию социальных услуг. Такой подход способствует лучшему пониманию проблемных областей, выявлению неэффективных процессов и разработке индивидуальных решений, направленных на повышение качества жизни граждан.

Среди методологий и методов построения онтологий «с нуля» традиционно выделяют следующие [12]:

- подход Сус;
- метод Усколда и Кинга;
- методология Грюнингера и Фокса;
- методология METHONTOLOGY.

Авторы отмечают METHONTOLOGY как позволяющую создавать онтологии на уровне знаний и включающую в себя идентификацию процесса разработки онтологии, а также жизненный цикл, основанный на развивающихся прототипах и специальных методах описания процессов. [13]. Методология является наиболее современной, поскольку интегрирует опыт проектирования сложных объектов из разработки программного обеспечения и инженерии знаний.

Рассмотрим в качестве примера адаптации данной методологии построенную авторами онтологическую модель (рис. 3), описывающую все элементы, связанные с получением и применением карты болельщика, а также их взаимосвязи и действия:

- Сам процесс рассматривается слева направо и снизу вверх (в том числе, в рамках подпроцессов). Пунктирными линиями со стрелкой обозначены необязательные сценарии, сплошными и двунаправленными линиями — подтипы информационных ресурсов (прямоугольники на схеме) и синхронизация данных, соответственно.
- Ключевыми акторами (обозначены сквирклами) являются: пользователь, сотрудник МФЦ, контролирующие органы власти, оргкомитет матча и провайдер IT-инфраструктуры.
- Основными элементами информационного обеспечения выступают: Портал государственных услуг Российской Федерации («Госуслуги») и его сервисы, мобильное приложение «Болельщик», система валидации на стадионе и их базы данных.

Карта болельщика нужна для посещения матчей Российской премьер-лиги и финального матча Кубка России по футболу. Раньше карта называлась «Паспорт болельщика» или Fan-ID и представляла собой ламинированный бейдж. «Паспорт болельщика» больше не действует, для покупки билетов и посещения матчей нужно получить новую карту болельщика, которая выпускается в электронном виде. После оформления она будет доступна в:

- личном кабинете на Госуслугах;
- приложении «Госуслуги Карта болельщика».

Для оформления карты болельщика через «Госуслуги» [12] нужен подтверждённый аккаунт на портале. Если его ещё нет, можно сходить в МФЦ с паспортом, отправить заказное письмо «Почтой России» или удостоверить личность с помощью сертификата квалифицированной электронной подписи. Получить карту могут также родители детей до 14 лет и иностранные граждане (для авторизации последним потребуется лишь электронная почта и номер телефона, а персональные данные в заявлении нужно указывать латинскими буквами — как в паспорте).

Оформление через «Госуслуги» и последующее применение карты болельщика имеет несколько преимуществ:

1. Удобство и скорость процедуры. После подачи заявки и подтверждения личности карта придёт в личный кабинет «Госуслуг» через три дня. При оформлении в МФЦ срок ожидания будет таким же ввиду единого регламента проверки, однако сам процесс похода в центр и подачи заявки займет куда больше времени (около двух часов против трёх-пяти минут через Госуслуги).
2. Унификация и защита персональных данных. Все данные хранятся в системе «Госуслуг», они унифицированы и защищены. У клубов, билетных агрегаторов и касс, через которые болельщики будут покупать билеты, будет доступ только к номеру карты, что также позволит защитить персональные данные.
3. Оффлайн-доступ. Для этого нужно использовать мобильное приложение «Болельщик», которое позволяет сохранить билет и пройти по нему на стадион даже без доступа к сети — достаточно показать QR-код из приложения на входе.

Стоит отметить, что адаптированная авторами методология не является принципиально новой в области онтологического моделирования, однако ее специфика заключается в применении к конкретной задаче управления процессами получения и использования карты болельщика. Уникальность подхода состоит в создании комплексной модели, объединяющей разнородные элементы системы (информационные системы, акторы, процессы валидации данных), что позволяет выявлять латентные взаимосвязи и зависимости, оптимизировать рабочие процессы и минимизировать дублирование функциональности. Визуализация онтологической модели обеспечивает доступность представления знаний для широкого круга заинтересованных сторон, облегчая коммуникацию между разработчиками, аналитиками и лицами, принимающими решения.

Применение онтологического моделирования для управления картой болельщика обусловлено рядом специфических факторов, включая сложность и взаимосвязанность процессов, необходимость координации между различными ведомствами и организациями, строгие требования к безопасности и валидации данных, разнородность источников информации и необходимость формализации для автоматизации процессов. В отличие от других методов представления знаний, таких как семантические сети, фреймовые модели

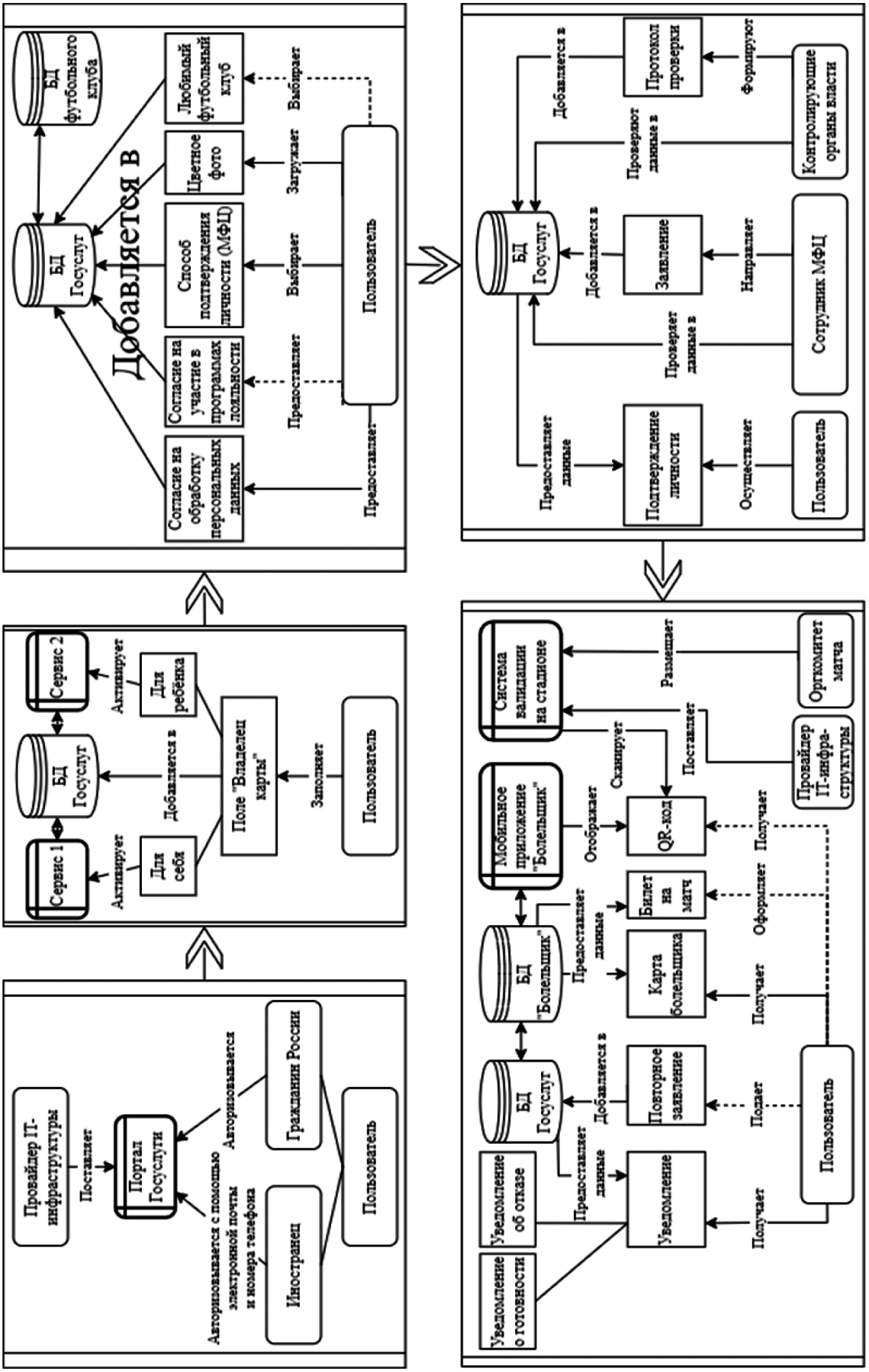


Рис. 3. Онтологическая модель получения и применения карты болельщика

и базы знаний, онтологии обеспечивают более высокий уровень структурированности и семантической выразительности, позволяя явно определять ключевые понятия и их взаимосвязи, обеспечивать семантическую интероперабельность между различными информационными системами и организовывать логический вывод новых знаний на основе имеющихся.

В частности, семантические сети акцентируют внимание на взаимосвязях между понятиями, но уступают в моделировании динамических процессов и ролей акторов. Фреймовые модели, ориентированные на представление стереотипных ситуаций, ограничены в описании вариативных сценариев и сложных взаимодействий, характерных для системы управления картой болельщика. Базы знаний, в свою очередь, ориентированы на хранение фактов и правил, но не обеспечивают структурности и семантической глубины, присущей онтологиям.

Таким образом, онтологическое моделирование обеспечивает не только репрезентацию знаний о системе управления картой болельщика, но и создает основу для автоматизации процессов, поддержки принятия решений и интеллектуального анализа данных, способствуя повышению эффективности работы социальных служб и улучшению качества обслуживания граждан. Применение онтологического подхода обеспечивает более комплексное, структурированное и семантически богатое представление знаний, чем альтернативные методы, что обуславливает его целесообразность для решения задач управления сложными социальными системами.

Адаптировать построенную выше онтологическую модель можно, например, под информационные ресурсы и сервисы, входящие в состав информационных систем города Москвы. В основу каждой из этих систем заложена современная информационная технология (указана в скобках):

1. Госуслуги Москвы / Портал госуслуг Москвы (электронное правительство, e-Government).
2. Система экологического мониторинга (системы учета и мониторинга).
3. ЦОД RTCloud (облачные вычисления).
4. Умный город — 2030 (интернет вещей, IoT).
5. Мобильное приложение «Метро Москвы» (мобильные приложения).
6. Moscow.media (социальные медиа).
7. Ситуационный центр ЦОДД (аналитика больших данных, Big Data).
8. Система «Умный перекресток» (искусственный интеллект, AI).
9. Активный гражданин (блокчейн).
10. VR-комплекс для реабилитации больных (виртуальная и дополненная реальности).
11. Безопасный город (распознавание лиц).
12. Чат-бот Александра / Московский Транспорт (голосовые помощники).
13. Робот-почтальон Яндекса (робототехника).
14. МЧС России, Лиза Алерт (дроновидение).

Соответственно, в рамках исследования была также выведена классификация современных информационных технологий, с предварительным рассмотрением перспектив их применения (преимуществ, которые они в себе несут), а также рисков развития данных технологий.

Заключение

В современных условиях перехода к информационному обществу социальное управление все активнее использует информационные ресурсы и сервисы для оптимизации своей деятельности. Это связано с необходимостью повышения эффективности работы государственных органов, улучшения качества предоставления социальных услуг населению и обеспечения прозрачности принятия решений.

Разработка и применение онтологической модели для информационных ресурсов и сервисов, как было продемонстрировано на примере карты болельщика, является перспективным подходом к решению проблемы их разрозненности и недостаточной семантической согласованности. Такая модель позволяет не только структурировать знания о предметной области, но и обеспечивает основу для интеграции разнородных данных, автоматизации процессов обработки информации и построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в социальном управлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Data growth worldwide 2010-2028 / [Электронный ресурс] // Statista. URL: https://www.statista.com/statistics/871513/worldwide-data-created/ (дата обращения: 15.12.2024).
2. Бурыкин Евгений Сергеевич Подходы к принятию оптимального управленческого решения: рациональный и интуитивный // Вестник Московского университета имени С.Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. 2022. №2 (41). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-prinyatiyu-optimalnogo-upravlencheskogo-resheniya-ratsionalnyy-i-intuitivnyy (дата обращения: 15.12.2024).
3. Гайдукова Е. Ключ к гиперавтоматизации: онтологические модели / Е. Гайдукова // Открытые системы. СУБД. — 2021. — № 3. — С. 21–23. — EDN YQODEV.
4. Балобанова К.А., Павлова Л.В. Структура информационной системы // Материалы XII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». URL: https://scienceforum.ru/2020/article/2018020079 (дата обращения: 15.12.2024).

5. Городилов А.Б. Адаптивное управление наукоемким машиностроительным производством / А.Б. Городилов, В.С. Веселовская. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2023. — С. 71 — ISBN 978-5-466-02451-7. — EDN MFGRFD.
6. Лузан А.Ю., Серебрякова Т.А. Понятие и виды информационных ресурсов. мировые информационные ресурсы // Вестник науки. 2018. №7 (7). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-i-vidy-informatsionnyh-resursov-mirovye-informatsionnye-resursy (дата обращения: 15.12.2024).
7. Прохоров Михаил Александрович Информационные ресурсы и их классификация // Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. №8. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-resursy-i-ih-klassifikatsiya (дата обращения: 15.12.2024).
8. Мохаммед И. Мабрук. Краткие основы SOA / [Электронный ресурс] // IBM Developer. URL: http://www.ibm.com/developerworks/ru/edu/ws-soa-ibmcertified/index.html (дата обращения: 15.12.2024).
9. Кузавкова М.В. Влияние информатизации на современное общество / М.В. Кузавкова. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2023. — № 10 (457). — С. 191–193. — URL: https://moluch.ru/archive/457/100601/ (дата обращения: 15.12.2024).
10. Основы управления в органах внутренних дел: учебник для вузов / под общей редакцией Ю.Е. Аврутина. — 2-е изд., перераб. и доп. –Москва: Издательство Юрайт, 2025. — С. 34. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06242-7. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: https://urait.ru/bcode/562781 (дата обращения: 15.12.2024).
11. Андрианов А.В. Проектирование онтологической модели информационно-аналитической системы / А.В. Андрианов. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2018. — № 9 (195). — С. 39–42. — URL: https://moluch.ru/archive/195/48532/ (дата обращения: 15.12.2024).
12. Ефименко И.В., Хорошевский В.Ф. Онтологическое моделирование экономики предприятий и отраслей современной России. Ч. 1: Онтологическое моделирование: подходы, модели, методы, средства, решения: препринт WP7/2011/08 / Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: Издательский дом «Высш. шк. экономики», 2011. С. 32.
13. Yousefzadeh Aghdam M., Kamel Tabbakh S.R., Mahdavi Chabok S.J. et al. Ontology generation for flight safety messages in air traffic management. J Big Data 8, 61 (2021). — URL: https://doi.org/10.1186/s40537-021-00449-3 (дата обращения: 15.12.2024).
14. Карта болельщика / [Электронный ресурс] // Портал государственных услуг Российской Федерации: [сайт]. — URL: https://www.gosuslugi.ru/help/faq/subcategory/culture_sport/fancard (дата обращения: 15.12.2024).

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Канаев Алексей Александрович (alekseykanaev@mail.ru);
Паршева Олеся Александровна (parsheva.alesya@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.12

МЕТОДИКА ТЕСТИРОВАНИЯ ПРИГОДНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЮРИДИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ АНАЛИЗА ПРАВОВЫХ РИСКОВ ЗАКЛЮЧЕНИЯ ДОГОВОРА В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

METHODOLOGY FOR TESTING THE SUITABILITY OF SOFTWARE USING NEURAL NETWORK TECHNOLOGIES FOR SOLVING LEGAL TASKS: A CASE STUDY OF LEGAL RISK ANALYSIS IN CONTRACT CONCLUSION IN THE ACTIVITIES OF A COMMERCIAL ORGANIZATION

L. Dyachenko
M. Manushkina
P. Krinitsin
M. Shuhratzoda

Summary. The article is devoted to the development of a methodology for testing the suitability of software using neural network technologies for solving legal tasks. In particular, the article addresses the task of analyzing legal risks in contract conclusion within the activities of a commercial organization. The authors examine the relevance of applying artificial intelligence (AI) in legal practice, especially in the context of automating contract analysis and identifying potential risks. The article proposes a methodology that includes stages such as data loading, query formulation, and software effectiveness evaluation.

Keywords: legal activity, computer science, software, artificial intelligence, analysis of legal risks.

Дьяченко Лариса Александровна
Аспирант,
ФГАУ ВО Сибирский федеральный университет
tor-lara@yandex.ru
Манушкина Маргарита Михайловна
Кандидат педагогических наук, доцент,
ФГАУ ВО Сибирский федеральный университет
margma@yandex.ru
Криницин Павел Геннадьевич
Аспирант,
ФГАУ ВО Сибирский федеральный университет
alfa_reklama@mail.ru
Шухратзода Мирзоюнус
аспирант,
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
mirzo99@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена разработке методики тестирования пригодности программного обеспечения (ПО) с использованием нейросетевых технологий для решения юридических задач. В частности, в статье использована задача по анализу правовых рисков при заключении договоров в деятельности коммерческой организации. Авторы рассматривают актуальность применения искусственного интеллекта (ИИ) в юридической практике, особенно в контексте автоматизации анализа договоров и выявления потенциальных рисков. В статье предложена методика, которая включает этапы загрузки данных, формулирования запросов, оценки эффективности ПО.

Ключевые слова: юридическая деятельность, информатика, программное обеспечение, искусственный интеллект, анализ правовых рисков.

В современном мире искусственный интеллект (ИИ) становится неотъемлемой частью многих отраслей, включая юриспруденцию. Юридическая деятельность, традиционно считающаяся консервативной и требующая глубоких профессиональных знаний, сегодня сталкивается с необходимостью адаптации к новым технологическим вызовам. Внедрение ИИ в юридическую практику открывает широкие возможности для оптимизации процессов, повышения качества услуг и снижения затрат.

В настоящее время уже имеется значительное количество программного обеспечения для автоматизации рутинных задач в юридической деятельности как зарубежного, так и отечественного происхождения. Так, согласно данным Реестра программного обеспечения [1] (далее — Реестр) на 15.02.2025 г. по коду 05.11 Интеллектуальные средства управления экспертной деятельностью в Реестр внесено 179 записей, из них:

— 14 программных продуктов, направленных на решение отдельных задач юридической деятельности;

— 4 специализированных программных продукта, направленных на решение юридических задач более чем по одному направлению юридической поддержки операционной деятельности,
— 1 программный продукт, решающий задачи нескольких направлений операционной деятельности и включающий блок юридических задач.

Однако успешное использование ИИ в юриспруденции требует тщательной оценки его пригодности для решения специфических задач. В этой связи разработка методики испытаний программного обеспечения с использованием нейросетевых технологий при решении юридических задач становится актуальной и востребованной задачей.

В качестве объекта тестирования была выбрано одно из специализированных ПО, зарегистрированных в Реестре, функционал которого направлен на анализ договоров.

Цель методики — оценить способность искусственного интеллекта (ИИ) решать юридические задачи, в частности, выполнять анализ правовых рисков при заключении договоров. Процедура тестирования содержит три стадии — подготовительную, основную и завершающую.

Подготовительная стадия включает в себя три этапа.

Первый этап методики — определение перечня исследуемых критериев тестирования и требований к полученным результатам.

С учетом положений ГОСТ Р ИСО 31000–2019 [2] применительно к юридической деятельности, анализ правовых рисков заключения договора направлен на выявление:
— несоответствий нормам действующего законодательства и локальным нормативным актам;
— противоречий в логической структуре документа;
— несоответствие предмета договора виду деятельности предприятия и виду договора;
— недостоверность данных о контрагенте;
— неисполнимость условий договора;
— несоответствие сроков в договоре, например, принципу разумности.

При этом результат анализа правовых рисков, как правило, это заключение, должен быть понятен непосредственным исполнителям обязательств по договору.

Таким образом, можно выделить следующие требования к ПО для анализа рисков по договору:
1. Возможность работы с текстовыми файлами. Так, например, как правило, специализированное ПО не поддерживает формат *.pdf. В то же время документооборот через Картотеку арбитражных дел [3] использует именно формат *.pdf. Таким образом, анализ договора, предоставленного в рамках судебного разбирательства, требует затрат на перевод его в требуемый для ПО формат.
2. Способность дополнительного обучения программы для анализа текста договора на предмет соответствия локальным правовым нормам. Так, например, в организации могут быть установлены нормы по срокам оплаты, запрет на заключение договоров с определенными категориями контрагентов.
3. Соблюдение требований законодательства с учетом всех актуальных изменений в нормативных документах.
4. Формирование итогового документа с указанием обнаруженных в ходе анализа источников рисков и рекомендациями по их минимизации.
5. Достоверность и повторяемость полученного результата.

Второй этап. Подготовка тестовых данных. Для проведения тестирования были выбраны несколько договоров поставки, договоров аренды, агентских договоров:
— типовые формы договоров из базы форм документов справочно-правовой системы (СПС) «КонсультантПлюс» (пробный доступ);
— нетиповые формы договоров, разработанные в ходе практической деятельности по оказанию юридических услуг;
— договоры с реализованными рисками, полученные в результате судебной практики.

Все документы были переведены в формат, требуемый для работы с ПО, тексты приложений включены в файл самого договора. С целью соблюдения требований информационной безопасности в документах были изменены данные контрагентов. Однако для проверки корректности реализации функции проверки контрагента в качестве сторон по договору были выбраны реально существующие юридические лица и использованы данные из Единого государственного реестра юридических лиц [4] (далее — ЕГРЮЛ).

Отметим, что в языковых моделях часто присутствует ограничение на количество символов в документе, подлежащем анализу.

Третий этап. Формирование эталонных ответов.

Отобранные для тестирования договоры прошли экспертную правовую оценку в соответствии с действующим законодательством. По результатам оценки были подготовлены правовые заключения. В качестве эталонного ответа для договоров с реализованными рисками

использованы решения соответствующих судебных органов.

Основная стадия также разделена на несколько этапов и посвящена непосредственно тестированию функциональности программного обеспечения.

Этап первый. Загрузка данных.

Результаты загрузки данных могут быть оценены как по временному критерию, так и чувствительности ПО к объему и формату документа, предлагаемого для анализа.

Отдельная задача в рамках данного этапа — загрузка локальных нормативных актов или их отдельных норм, учет которых обязателен для всесторонней оценки правовых рисков по договору.

Этап второй. Формулирование запроса представляет собой процесс создания вопросов или задач, которые будут предложены ПО для проверки способности анализировать правовые ситуации и предоставлять корректные ответы.

Этот этап требует учета специфики юридических задач и включает необходимость разнообразия запросов по сложности и направленности.

Отметим, что правовой анализ для целей юридического сопровождения действующего предприятия предполагает возможность установления роли ПО. В частности, при несимметричных условиях ответственности, что часто встречается в сделках сегмента B2G приоритет правовой защиты отдан государственному заказчику. Следовательно, и риски на стороне заказчика и исполнителя будут иметь значительные отличия.

Запросы должны отражать реальные правовые ситуации, с которыми сталкиваются юристы и граждане. Это позволяет оценить, насколько ПО позволяет автоматизировать процесс решения практических задач.

Тестируются различные сценарии, включая ввод неверных или неполных данных, чтобы проверить, как система справляется с такими ситуациями и выдает ли она корректные предупреждения или альтернативные решения.

Этап третий. Получение ответов.

На данном этапе необходимо зафиксировать предоставленные ПО ответы на запросы.

Отметим, что в специализированном ПО не всегда реализована функция выгрузки текстового файла с правовым заключением или иной формой отчета. Учитывая, что тестирование ПО предполагает оценку возможности его использования в реальной юридической деятельности, целесообразно максимально полно отобразить полученные результаты, например, с помощью снимков экрана.

Этап четвертый. Повторное тестирование для проверки повторяемости результата.

На данном этапе крайне важно соблюдать тождественность как в части документов, направляемых на анализ, так и в части тождественности запросов, адресуемых ПО [5].

Завершающая стадия. Оценка ответов и оформление результатов.

Этап первый. Оценка ответов.

Этап оценки ответов является важной частью методики тестирования ПО для решения юридических задач. Этот этап включает проверку качества и точности предоставленных ПО решений.

Предлагается использовать балльную систему для оценки целесообразности внедрения конкретного ПО для решения юридических задач на предприятии. Порядок оценивания приведен в табл. 1.

Таблица 1.

Порядок оценивания целесообразности внедрения ПО

№ п/п	Критерий оценивания	Количество баллов	Обоснование оценки
1	Использование актуального федерального законодательства	0	Не используется
		1	Используется ограниченно
		2	Используется в полном объеме
2	Использование актуальных подзаконных актов	0	Не используется
		1	Используется ограниченно
		2	Используется в полном объеме
3	Использование локальных нормативных актов	0	Не используется
		1	Используется ограниченно
		2	Используется в полном объеме
4	Соответствие эталонному ответу	0	Не соответствует
		1	Соответствует частично
		2	Полностью соответствует

№ п/п	Критерий оценивания	Количество баллов	Обоснование оценки
5	Полнота выявленных рисков	0	Не выявлены
		1	Выявлены частично
		2	Выявлены полностью
6	Наличие ограничений в части материалов для анализа	0	Ограничения, влекущие невозможность использования для решения задач
		1	Преодолимые ограничения
		2	Ограничения отсутствуют
7	Скорость обработки	0	Более 10 минут
		1	От 5 до 9 минут
		2	Менее 5 минут
8	Формирование итогового документа с указанием обнаруженных в ходе анализа источников рисков и рекомендациями по их минимизации	0	Отсутствует
		1	Представлен не в полной мере (например, в итоговом документе отсутствуют исполнимые рекомендации)
		2	Удовлетворяет потребностям
9	Достоверность и повторяемость полученного результата	0	Отсутствует
		1	Частично
		2	Присутствует в полной мере

Этап оценки ответов позволяет убедиться, что ПО способно эффективно решать юридические задачи, обеспечивая точность, полноту и соответствие законодательным требованиям. Это критический шаг в разработке и внедрении таких технологий, поскольку они могут оказать значительное влияние на принятие важных решений в правовой сфере.

Этап второй. Оформление результатов.

Целесообразно оформить результаты тестирования соответствующим отчетом.

Учитывая задачи и структуру тестирования, отчет должен включать несколько частей.

Во вводной части описывается соответствующее программное обеспечение — наименование, наличие в Реестре, функциональное описание, минимальные требования, стоимость.

В основной части описывается процесс подготовки материалов для тестирования, типы запросов, ход тестирования, полученные ответы.

В заключительной части, на основании расчета баллов, приводятся выводы о целесообразности внедрения конкретного ПО для решения юридических задач в деятельности организации:

0–13 баллов: Низкий уровень пригодности;

14–16 баллов: Средний уровень, требуется доработка;

17–18 баллов: Высокий уровень, пригоден для большинства задач, связанных с анализом рисков заключения договора в коммерческой организации.

Отметим, что оценка менее трех баллов для отдельных критериев, например, некорректное использование действующего законодательства, является основанием для отказа использования конкретного ПО в решении юридических задач.

Эта методика позволяет объективно оценить пригодность ПО для решения юридических задач и сформировать обоснованное заключение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных [Электронный ресурс] Режим доступа: URL:// reestr.digital.gov.ru (дата доступа: 26.02.2025).
2. ГОСТ Р ИСО 31000–2019 Менеджмент риска. Принципы и руководство. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL:// https://pqm-online.com/assets/files/lib/std/gost-r-iso-31000-2019.pdf (дата доступа: 26.02.2025).
3. Картотека арбитражных дел [Электронный ресурс] Режим доступа: URL:// https://kad.arbitr.ru/?ysclid=m7lg69002a294597829 (дата доступа: 26.02.2025).
4. Единый государственный реестр юридических лиц [Электронный ресурс] Режим доступа: URL:// https://egrul.nalog.ru/index.html (дата доступа: 26.02.2025).
5. ГОСТ Р ИСО 21748–2012 Статистические методы. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценке неопределенности измерений [Электронный ресурс] Режим доступа: URL:// https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b85/4293782962.pdf (дата доступа: 26.02.2025).

© Дьяченко Лариса Александровна (tor-lara@yandex.ru); Манушкина Маргарита Михайловна (margma@yandex.ru);
Криницин Павел Геннадьевич (alfa_reklama@mail.ru); Шухратзода Мирзоюнус (mirzo99@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.14

ПРЕИМУЩЕСТВА ИЗВЛЕЧЕНИЯ, ОБРАБОТКИ И ЗАГРУЗКИ ДАННЫХ СРЕДСТВАМИ PLUS 7 FORMIT В ЕДИНЫЕ ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ

ADVANTAGES OF EXTRACTING, PROCESSING AND LOADING DATA WITH PLUS 7 FORMIT INTO IN DATA WAREHOUSING

E. Emelyanov

Summary. In IT systems data stored in many source systems. As rule databases, storages, systems on statistics and etc not related to each other. In data contains important information for business management, but to do this it is necessary to obtain data from diverse sources and present it in a form convenient for managers and analysts in the shortest possible time.
The purpose of the study is the efficiency of processing, extracting, and loading data using ETL methods, as well as 7 forms in visibility with the general functionality of external ETL tools.
The main functionality of ETL tools plus 7 formit is used for the transfer, highlighting the elements of the basic functionality, and considering possible shortcomings of foreign solutions in consideration with a visible analogue.
This study should clearly highlight the problems and shortcomings of processing results and loading data using ETL tools plus 7 formit.

Keywords: data warehouse, data base, source system, mapping, structured query language.

Емельянов Егор Гурьевич
аспирант, Технологический университет имени дважды героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова
did-qvi@mail.ru

Аннотация. В информационных системах данные хранятся в разных источниках. Часто это не связанные между собой БД, хранилища событий, системы статистики и т.п. В этих данных есть важная информация для управления бизнесом, но для этого необходимо достать данных из разнородных источников и представить их в удобном для менеджеров и аналитиков виде за минимально возможное время.
Целью исследования является обозначить преимущества обработки, извлечения и загрузки данных российским ETL средством плюс 7 формит в сравнении с общим функционалом зарубежных ETL средств.
Задачей является рассмотреть основной функционал ETL средства плюс 7 формит, выделить элементы основного функционала и указать на явные недостатки зарубежного решения в сравнении с российским аналогом.
Результатом данного исследования должно являться выделения явных преимуществ и нововведений в извлечении, обработки и загрузки данных с помощью российского ETL аналога плюс 7 формит.

Ключевые слова: хранилище данных, база данных, система источник, маппинг, язык структурированных запросов.

Инструменты ETL, часто используемые в сочетании с SQL, являются основополагающими элементами инженерии данных, предназначенными для решения сложных задач управления данными. Эти инструменты могут извлекать данные из многих источников, будь то традиционные реляционные базы данных, системы NoSQL или облачные платформы. Однако их настоящее мастерство проявляется на этапе трансформации. Здесь данные подвергаются тщательной очистке для устранения аномалий, обогащению для повышения их ценности и структурированию, чтобы сделать их пригодными для аналитических целей. Помимо этих основных функций, современные инструменты ETL решают проблемы, связанные с большими данными и аналитикой в реальном времени. Теперь они предлагают возможности потоковой обработки, позволяющие предприятиям обрабатывать данные в режиме реального времени, а также интеграцию машинного обучения для прогнозирования тенденций и аномалий. Кроме того, с развитием облачных вычислений многие инструменты ETL теперь являются облачными, что обеспечивает масштабируемость, гибкость и экономическую эффективность. Их интеграция с современными решениями для хранения данных обеспечивает предприятиям бесперебойный конвейер данных от извлечения данных до генерации аналитической информации. В более широком контексте хранилищ данных и аналитики инструменты ETL являются не просто помощниками; они являются движущей силой, предоставляющей предприятиям возможность использовать истинный потенциал своих данных.

Современные зарубежные ETL средства обладают следующими преимуществами:

1. Консолидированное представление данных. ETL обеспечивает консолидированное представление данных для углубленного анализа и отчет-

ности. Управление многочисленными наборами данных требует времени и координации и может привести к неэффективности и задержкам. ETL объединяет базы данных и различные формы данных в единое, унифицированное представление. Процесс интеграции данных улучшает качество данных и экономит время, необходимое для перемещения, категоризации или стандартизации данных. Это облегчает анализ, визуализацию и осмысление больших массивов данных.

2. Точный анализ данных. ETL обеспечивает более точный анализ данных для соответствия нормативным и регулятивным стандартам. Вы можете интегрировать инструменты ETL с инструментами обеспечения качества данных для профилирования, аудита и очистки данных, обеспечивая их достоверность.
3. Автоматизация задач. ETL автоматизирует повторяющиеся задачи обработки данных для эффективного анализа. Инструменты ETL автоматизируют процесс миграции данных, и вы можете настроить их на периодическую интеграцию изменений данных или даже во время выполнения. В результате инженеры по обработке данных могут больше времени уделять инновациям и меньше — решению таких утомительных задач, как перемещение и форматирование данных.

Однако несмотря на преимущества, можно выделить и следующие значительные недостатки:

1. Масштабирование. Как было указано выше, перед транспортировкой данных их необходимо обработать. Для этого данные предварительно материализуются и индексируются в кэше. Фактически кэш представляет из себя файл, элементы которого разбиты на массивы значения которого содержат первичный ключ, указатели на дочерний связанный объект и номер главного элемента массива. Такой подход удобен с точки горизонтального расширения т.к. в этом случае будут увеличиваться элементов внутри самого массива, а само кол-во массивов будет статично на последующих этапах обработки данных. Обратная ситуация с вертикальным расширением, при котором увеличивается как кол-во входящих массивов, так и операций по загрузке и выгрузке данных из кэша тем самым значительно увеличивая общий объем памяти выделяемого для кэша, для обработки данных, и приводя к резкому снижению времени раскрытия и обработки элементов внутри каждого массива.
2. Переполнение кэша. Кэш является промежуточной областью хранения данных элементы которого зачищаются, в случае если в дальнейшей обработке их участие исключается. Однако это правило не работает в случае, например, если связи 1 к 100000000 т.е. 1 элемент массива связан с 100000000 элементами других массивов. Как правило данная проблема решается расширением общего объема кэша путем дополнительных вычислительных ресурсов сервера. В случае если ответ от сервера не был получен или же превышено время ожидания ответа, то трансформации, выполняемые в рамках текущей транзакции, будут отменены с соответствующей ошибкой о переполнении кэша. На практике данную проблему решают путем создания несколько кэшей доступ к которым осуществляется последовательно. Однако такой подход увеличивает время трансформации во много раз т.к. остальные процессы простаивают по причине ожидания завершения основного процесса и выделении ресурса для их работы.

В современном российском решении плюс 7 формит, недостатки зарубежных средств были устранены следующим образом:

1. Масштабирование. Подход с вертикальным расширением масштабируемости был пересмотрен. Внутри каждого блока допустимы только двухуровневые массивы данных при этом процессы, рассматривающие первый и второй уровень вложенности, являются независимыми. Итоги обработки процессов фиксируются в отдельном файле на сервере и подлежат удалению по итогу вставки или обновления новых строк родительским процессом в целевой объект конечной таблицы базы данных приемника. В случае недостаточности в использовании двумерных массивов один из дочерних процессов организует связанный список, в котором выстраивается цепочка из правил обработки и извлечения данных из смежных массивов. Подход с горизонтальным расширением остался почти неизменным. Данные также предварительно материализуются и индексируются в кэше, но доступ на чтение этих данных, и их изменение, имеет только родительский процесс, инициировавший заполнение кэша. Это сделано с целью исключения блокировок объекта на чтение или запись процессами, которые могут просматривать или ожидать его изменения другими родительскими процессами.
2. Переполнение кэша. Общий подход к кэшированию элементов массива, в современных ETL средствах, мог приводить к его переполнению что в свою очередь влияло на простой основных процессов обработки и загрузки данных. Общий подход был переработан и вместо индексации и наполнении кэша был разработан оркестратор, задача которого координировать работы дочерних процессов. Работа оркестратора заключается в том, чтобы распределять допустимые ресурсы

между дочерними процессами тем самым снижая время простоя родительского процесса. Сами данные записываются в промежуточные файлы на сервере и сортируются средствами ETL в необходимой для джобов последовательности. В случае выявление коллизий, или же других конфликтных ситуаций, оркестратор принимает решение по своему усмотрению, но есть функционал по переопределению правил, на основании которых оркестратор принимает решения по разрешению конфликтов.

3. Двухстороннее кэширование. В отличии от зарубежных аналогов, в плюс 7 формит допустимо кэширование не только на стороне источника, но и на стороне базы данных приемника. Это позволяет сократить время трансформаций данных путем обращений к метаданным ETL с даты последней загрузки данных в БД источника.

В сравнении с зарубежными ETL средств, российский аналог имеет следующие преимущества:

1. Возможность захвата данных в режиме реального времени. Обработка данных в режиме реального времени позволяет системе принимать структурированные и неструктурированные данные из диапазона потоковых источников. К ним относятся IoT, подключенные устройства, каналы социальных сетей, данные датчиков и мобильные приложения. Система обмена сообщениями гарантирует, что данные запечатлены точно. Преобразование данных выполняется с использованием механизмов обработки данных в реальном времени.
2. Возможность захвата данных по изменениям. ETL используется для воспроизведения и автоматической синхронизации из различных исходных баз данных в облачное хранилище данных. Чтобы сэкономить время и повысить эффективность, используйте захват данных изменений, чтобы автоматизировать процесс, чтобы обновить только измененные наборы данных.
3. Обновленный подход к извлечению, преобразованию, и загрузки данных. Данные собираются из одного или нескольких источников данных и затем удерживается во временном хранилище предварительно отсортированными в соответствии с правилами, по которым предполагаются преобразования. Во время извлечения применяются правила проверки на соответствие требованиям конечных типов данных. Данные, которые не выполняют проверку, отклоняются и не загружаются до начала следующего шага. На этапе преобразования данные обрабатываются для того, чтобы его значения и структура соответствовали предполагаемому варианту использования. Цель преобразования состоит в том, чтобы сделать все данные в соответствии с единой схемой, прежде чем она переходит к последнему шагу. Типичные преобразования включают агрегаторы, маскировку данных, выражение, столяру, фильтр, поиск, ранжирование, маршрутизатор, объединение, нормализатор, и веб-сервис. Это помогает нормализовать, стандартизировать и фильтровать данные. Это также делает данные для потребления для аналитики, бизнес-функций и других последующих действий. Наконец, фаза загрузки перемещает преобразованные данные в постоянную целевую систему. Это может быть целевая база данных, хранилище данных, хранилище данных, центр данных или озеро данных-локально, или в облаке. Как только все данные загружены, процесс будет завершен.

Выводы

В рамках данной стать рассмотрены основные преимущества ETL средства плюс 7 формит в сравнении с современными зарубежными аналогами. По результатам проведенного анализа можно сделать вывод о том, что российским аналог ETL средства превосходит зарубежные аналоги в качестве, быстродействии и надежности при работе с большим количеством данных с различными источниками их обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сбор, объединение и преобразование данных с помощью Power Query. 2022. [с. 128–256].
2. Справочная документация по эксплуатации программного обеспечения informatica [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://docs.informatica.com.
3. Клеппман М.А. Высоконагруженные приложения. Питер, 2022. [с. 350–526].

© Емельянов Егор Гурьевич (did-qvi@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.15

АДАПТАЦИЯ ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ НЕГОЛОНОМНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ МОРСКИХ СУДОВ

ADAPTATION OF CONTROL LAW OF NON-HOLONOMIC ROBOTS FOR MARINE VESSELS

A. Ermolaev

Summary. Navigation of autonomous robotic vehicles is a difficult task, especially in terms of optimizing trajectories under dynamic constraints. This study is devoted to adapting the control laws of non-holonomic robots to marine vessels for use in navigation through scalar fields, for example, for environmental monitoring. Based on the fundamental work of Professor Matveev on Dubins robots and Professor Fossen on hydrodynamic modeling of marine vessels, this study combines these areas to develop a control system for a catamaran-type vessel. The main goal is to transfer and verify the effectiveness of Matveev's scalar field boundary detection law in the context of open nonlinear matrix-vector models of marine vessels by Fossen.

Keywords: computer simulation, unmanned underwater vehicle, degrees of freedom, hydrodynamics, kinematics, kinetics, maneuvering, swimming in the sea, robotic vessel.

Ермолаев Артём Александрович
Аспирант, Университет ИТМО, г. Санкт-Петербург
erm.art.949@gmail.com

Аннотация. Навигация автономных роботизированных транспортных средств представляет собой сложную задачу, особенно в части оптимизации траекторий в условиях динамических ограничений. Данное исследование посвящено адаптации законов управления неголономных роботов к морским судам для применения в навигации по скалярным полям, например, для мониторинга окружающей среды. Основываясь на фундаментальных работах профессора Матвеева, по роботам Дубинса, и профессора Фоссена, по гидродинамическому моделированию морских судов, данное исследование объединяет эти области для разработки системы управления для судна типа катамаран. Основной целью является перенос и проверка эффективности закона обнаружения границ скалярного поля Матвеева в контексте открытых нелинейных матрично-векторных моделей морских судов Фоссена.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, беспилотный надводный аппарат, степени свободы, гидродинамика, кинематика, кинетика, маневрирование, плавание в море, роботизированное судно.

Введение

Автономная навигация морских роботов представляет собой сложную задачу, особенно в условиях динамических ограничений и воздействия внешней среды. Для выполнения специфических задач, таких как поиск и спасение на море или экологический мониторинг, необходимо разработать законы управления, учитывающие особенности движения в водной среде и способные адаптироваться к изменяющимся условиям. Применение принципов управления неголономными роботами к морским судам позволяет эффективно решать задачи поиска целей или следования заданным изолиниям скалярных полей, что особенно актуально для локализации разливов нефти или других экологических угроз [1].

Движение в водной среде характеризуется необходимостью учета гидродинамических сил, инерции среды и дополнительных степеней свободы. В отличие от движения по плоской твердой поверхности, расчет траектории морского робота требует включения параметров, отражающих влияние окружающей среды, таких как скорость потока воды, сопротивление среды и гидродинамическое давление. Эти факторы существенно усложняют задачу навигации и управления, так как они создают динамические ограничения на движение судна и требуют специальных методов компенсации для обеспечения точности следования заданной траектории.

В области управления морскими судами существуют фундаментальные работы. Модель Абковица (1964) и MMG модель Огавы и Касаи (1978) заложили основу для современных исследований [6]. Особое место занимает работа профессора Фоссена, предложившего матрично-векторные модели, ставшие стандартом в проектировании систем управления [2]. Матрично-векторное представление моделей управления движением морских судов существенно упрощает проектирование систем благодаря использованию свойств линейной алгебры, таких как симметрия и положительная определенность матриц. Это позволяет эффективно анализировать устойчивость системы, интегрировать различные физические эффекты и создавать более наглядные модели, что значительно облегчает разработку устойчивых алгоритмов управления.

Продолжая исследования профессора Матвеева по навигации неголономных роботов [4][5], целью данной работы является адаптация его закона управления для численной модели катамаранного судна Фоссена с целью поиска изолиний в скалярном поле. Основные задачи работы:

1. Поиск открытой компьютерной модели неголономного судна, схожего по принципу движения с роботом типа Дубинса.
2. Модернизация компьютерной модели управляемого судна катамаранного типа.
3. Оценка точности работы закона управления в компьютерной модели.

Результаты станут основой для разработки системы роевого управления автономными морскими роботами для задачи локализации границ скалярного поля.

Описание системы и постановка задачи

Для управления движением морских роботов недостаточно использовать упрощенную кинематическую модель типа Дубинса, которая рассматривает движение с постоянной скоростью v и минимальными ограничениями на радиус поворота. Математически эта модель описывается следующим образом [5]:

$$\begin{cases} \dot{x} = v\cos(\psi) \\ \dot{y} = v\sin(\psi) \\ \dot{\psi} = \omega \end{cases}$$

где x и y — координаты, ψ — угол курса, ω — угловая скорость, а v — линейная скорость. Однако, данная модель не учитывает динамические воздействия окружающей среды, такие как течения, волнение и гидродинамическое сопротивление, что существенно ограничивает её применимость для морских судов.

В современных исследованиях используются более сложные компьютерные модели, учитывающие реальные физические процессы. Одним из таких инструментов является Python Vehicle Simulator [7], разработанный профессором Фоссеном, который включает множество моделей морских судов. Среди них особое внимание привлекает катамаран Otter USV (Unmanned Surface Vehicle) (рисунок 1), представляющий собой пример неголономного судна. Именно эта модель была выбрана для исследования, так как её динамика наиболее близка к принципам движения робота типа Дубинса, при этом она учитывает специфику водной среды.

Кинематика катамарана Otter USV описывается следующим образом [4]:

$$\begin{cases} \dot{\vec{r}} = ve(\psi) + V(r,t) \\ \dot{\psi} = \omega \end{cases}$$

где $\vec{r}$ — вектор положения судна, $\vec{e}(\psi) = \left[\cos(\psi), \sin(\psi)\right]^T$ — вектор направления движения, $\vec{V}(\vec{r},t)$ — вектор потока воды, v — скорость относительно среды, а ω — угловая скорость. Эта формулировка позволяет адаптировать траекторию движения к влиянию внешних факторов, таких как течение и инерция.

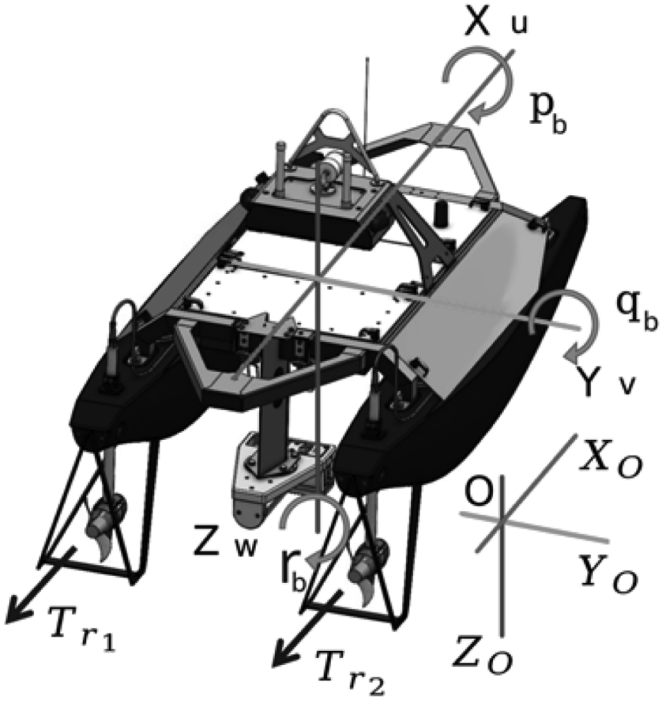


Рис. 1. Катамаран Otter USV.
Вектора линейных $\left[u_b, v_b, w_b,\right]$ и угловых $\left[p_b, q_b, r_b,\right]$ скоростей представлены на осях катамарана XYZ. Система O_{XYZ} ориентация координат Земли

Для полного описания динамики катамарана используется модель Фоссена [3], учитывающая шесть степеней свободы (6-DOF) и различные силовые эффекты. Общее уравнение движения имеет вид:

$$M\dot{\upsilon} + C(\upsilon)\upsilon + D(\upsilon)\upsilon + G(\eta) = \tau + \tau_E$$

где:

- $M \in R_{6x6}$ — матрица инерции;
- $C(\nu) \in R_{6x6}$ — матрица Кориолисовых и центростремительных сил;
- $D(\nu)$ — матрица гидродинамических демпфирующих сил и моментов;
- $G(\eta)R_6$ — вектор возвращающих сил и моментов;
- $\tau \in R_6 = \left[X_f, Y_f, Z_f, K_m, M_m, N_m\right]^T$ — вектор управляющих сил и моментов;
- $\tau_E \in R_6$ — вектор сил и моментов внешней среды.

Переменные модели определяются следующим образом:

- $\eta \in R_6 = \left[x, y, z, \varphi, \theta, \psi\right]^T$ — положение и ориентация судна в системе координат Земли;
- $\nu \in R_6 = \left[u_b, v_b, w_b, p_b, q_b, r_b\right]^T$ — вектор линейных и угловых скоростей в системе координат тела.

Для того чтобы применить закон профессора Матвеева для управления численной моделью катамарана в симуляторе профессора Фоссена потребуется модернизировать модель Otter USV.

Для этого опишем задачу управления. Пусть есть скалярное поле интенсивности $F(\vec{r}) \in C^1(\mathbb{R}^3)$ и целевое значение f_*. Цель управления выражается $F(\vec{r}(t)) \to f_*$ при $t \to$. Существует целевая изолиния $I(f_*) = \{\vec{r} : F(\vec{r}) = f_*\}$ к которой катамаран должен ассимптотически стремиться.

Закон управления описывается формулой [4]:

$$\omega(t) = \frac{1}{2}\left[(1-\sigma)\omega_- + (1+\sigma)\omega_+\right],$$

$$\sigma = -sgn\left(f' + \mu\chi(f - f_*)\right),$$

где χ — ограниченная кусочно-гладкая функция, $\mu > 0$— настраиваемый параметр, ω_-, ω_+ — предельно возможные угловые скорости.

Описание движительной системы симулятора

Движительная система модели Otter USV состоит из двух независимых гребных винтов. Вектор управляющего воздействия имеет вид:

$$u_{control} = [n_1, n_2]^T,$$

где n_1и n_2 — скорости вращения валов левого и правого винтов соответственно (в рад/с), лежащие в ограничениях $[n_-, n_+]$. Тяга, создаваемая каждым винтом, равна:

$$T_i = \begin{cases} k_{pos} n_i |n_i|, n_i > 0 \\ k_{neg} n_i |n_i|, n_i \le 0 \end{cases}$$

где k_{pos}, k_{neg} — коэффициенты тяги в положительном и отрицательном направлениях вращения винта соответственно.

Суммарные сила и момент, действующие на винты, равны:

$$\tau = \begin{pmatrix} T_1 + T_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -l_1 T_1 - l_2 T_2 \end{pmatrix}$$

где l_1 и l_2 — рычаги левого и правого винтов соответственно.

Адаптированная версия закона управления имеет вид:

$$u_{control} = \frac{1}{2}\left((1-\sigma)\begin{pmatrix} n_+ \\ n_- \end{pmatrix} + (1+\sigma)\begin{pmatrix} n_- \\ n_+ \end{pmatrix}\right),$$

где σ описывается уравнением выше.

Стратегия управления гарантирует, что USV может следовать динамической изолинии в определенных условиях, учитывающих значения интенсивности поля и неголономные ограничения. Закон Матвеева устойчив к неопределенностям воздействия окружающей среды и обеспечивает достаточную маневренность для компенсации дрейфа.

Модель Otter USV обладает следующими параметрами:

- Габаритные размеры: 200 см × 108 см × 106,5 см;
- Осадка: 32 см;
- Сухой вес: 65 кг (с двумя батареями);
- Материал корпуса: полиэтилен;
- Приводная система: два редукторных электродвигателя.

Модель разработана при следующих допущениях:

1. Судно описывается как жесткое тело с шестью степенями свободы (6-DOF).
2. Среда представляет собой жидкую воду с постоянной плотностью ρ =1026 кг/м^3.
3. Возмущения окружающей среды моделируются с постоянными или медленно меняющимися параметрами.
4. Вектор текущей скорости среды состоит из компонент волнения и качки относительно курса судна.
5. Гидродинамические эффекты включают присоединенную массу, демпфирование, восстанавливающие силы и сопротивление поперечного потока.
6. Динамика гребного винта регулируется постоянными времени и коэффициентами тяги.
7. Нелинейные эффекты, такие как демпфирование рысканья, крена и дифферента, включены в уравнения движения.

Симуляция движения катамарана

Рассмотрим симуляцию движения катамарана в простейшем скалярном поле, описанном квадратичной функцией. Значения концентрации поля в точке принимаются в условных единицах, максимальная высота пика скалярного поля составляет 30 единиц, для удобства представления графиков. На рисунке 2 видно, что при расположении стартовой точки модели Otter USV, в непосредственной близости изолинии, закон управления $u_{control}$ демонстрирует свою работоспособность. Время перехода в скользящий режим для этого эксперимента составляет T_i = 40 секунд.

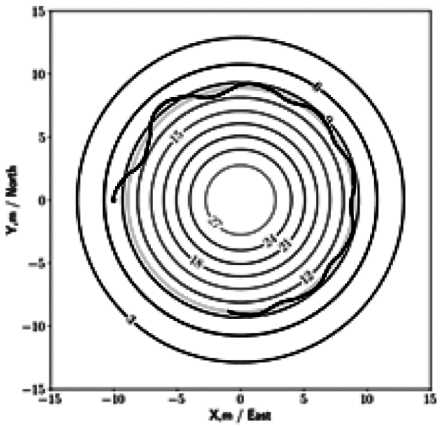


Рис. 2а. Точка старта [-10;0]. Выход на скользящий режим

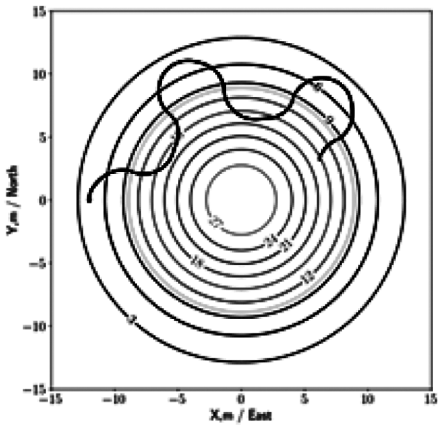


Рис. 2б. Точка старта [-13;0]. Выход на целевую изолинию. Движение с большой амплитудой

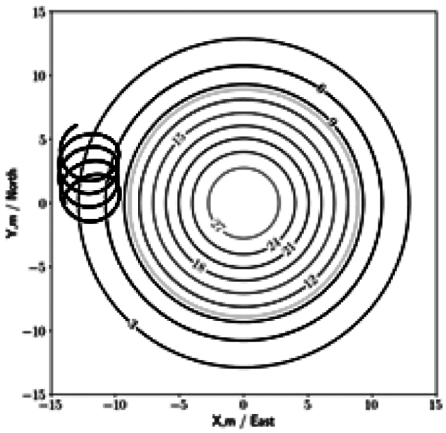


Рис. 2в. Точка старта [-14;0]. Потеря ориентации в скалярном поле

Рис. 2. Симуляция движения модели катамарана в простом поле с одним пиком, описанном квадратичными функциями. Синяя линия — трек катамарана, красная — целевая изолиния. Время симуляции T_{total} = 100 сек. Значение целевой изолинии — 10 ед.

Из рисунка 2 так же следует, что закон управления $u_{control}$ имеет ограничения накладываемые значением концентрации и скоростью роста производной в точке старта. При старте из более разреженной зоны концентрации (зона 1–3 ед.), закон управления не позволяет катамарану обнаружить изолинию. Для работы закона управления в областях слабо изменяющейся концентрации или нулевой концентрации, требуется доработка, качественно улучшающая поисковый алгоритм, поскольку такие участки не позволяют определить направление положения изолинии.

Заключение

Закон управления автономным роботом, предложенный профессором Матвеевым, продемонстрировал работоспособность в комплексной задаче управления моделью морского робота катамаранного типа, описанной профессором Фоссеном. В зависимости от значения производной на границе скалярного поля можно определить эффективность выбора начальной точки движения робота. Дальнейшие эксперименты показали, что даже в областях с «плоскими» участками концентрации (3–5 ед.), катамаран способен находить изолинию и выходить на скользящий режим. Однако в областях со слабо изменяющейся концентрацией (1–3 ед.) или нулевой концентрацией требуется доработка алгоритма поиска изолинии. Модель Фоссена продемонстрировала высокий потенциал для решения широкого спектра задач локализации границ скалярного поля. Работа открывает возможности для дальнейшего исследования роевого управления автономными морскими роботами для задачи локализации и следования вдоль границы поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aznar F., Sempere M., Pujol M., Rizo R., Pujol M.J. Modelling Oil-Spill Detection with Swarm Drones // Abstract and Applied Analysis. 2014. T. 2014. C. 1–10. DOI: 10.1155/2014/949407.
2. Fossen T.I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. 2-е изд. Издатель: John Wiley & Sons Ltd, 2021. 736 с.
3. Fossen T.I. Mathematical Models of Ships and Underwater Vehicles // Encyclopedia of Systems and Control. 2014. C. 1–9. DOI: 10.1007/978-1-4471-5102-9_121-2.
4. Matveev A.S., Kapitonov A.A., Berman I., Chernov V. Gradient-Free Tracking of Unsteady Environmental Level Sets in Dynamic Environments by a Nonholonomic Robots // 21st IFAC World Congress, Berlin, Germany, July 2020, C. 9391–9396, DOI: 10.1016/j.ifacol.2020.12.2215.
5. Matveev A.S., Ovchinnikov K.S., Savkin A.V. Gradient-free sensor-based navigation of a nonholonomic robot for source seeking in cluttered environments // 35th Chinese Control Conference (CCC), Chengdu, China, 2016, C. 4658–4663, DOI: 10.1109/ChiCC.2016.7554075.
6. Yang Y., Chillcce G., Moctar O. Mathematical modeling of shallow water effects on ship maneuvering // Applied Ocean Research. 2023. T. 136. C. 1–7. DOI: 10.1016/j.apor.2023.103573.
7. Fossen T.I. Python Vehicle Simulator. URL: https://github.com/cybergalactic/PythonVehicleSimulator (дата обращения: 03.03.2025).

© Ермолаев Артём Александрович (erm.art.949@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.22

УСТРОЙСТВА FACTS В КОНТЕКСТЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

FACTS DEVICES IN THE CONTEXT OF IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN MACHINE-BUILDING INDUSTRIES

V. Knyazev
L. Shvartsburg

Summary. Instrumental methods, techniques for improving energy efficiency and reducing energy costs by introducing energy-saving technologies and creating automated, distributed intelligent power control and distribution networks are gaining significant importance in the modernization of domestic enterprise power supply systems. The article assesses the energy intensity of machine building industries and describes the characteristics of electrical consumers in this sector. It also justifies the need for introducing energy-saving technologies in the power supply of machine-building companies and provides a classification of active, adaptive hardware devices (FACTS) and their applications.

Keywords: energy efficiency, energy intensity, FACTS (Flexible AC Transmission Systems) devices, automation tools, and electricity quality.

Князев Владислав Валерьевич
Аспирант, ФГБОУ ВО Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
driver1796@yandex.ru
Шварцбург Леонид Эфраимович
Доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»
lesh@stankin.ru

Аннотация. Инструментальные методы, способы повышения энергоэффективности, снижения затрат энергоресурсов посредством ввода энергосберегающих технологий и создания на их базе автоматизированных распределённых интеллектуальных сетей контроля и распределения электроэнергии приобретают большой вес при рассмотрении вопросов модернизации систем электроснабжения отечественных предприятий. В статье приведена оценка энергоёмкости машиностроительных производств, дана характеристика потребителей электроэнергии, относящихся к машиностроению. Обоснована необходимость внедрения энергосберегающих технологий в системы электроснабжения машиностроительных предприятий, приведена классификация активно-адаптивных аппаратных устройств FACTS и области их применения.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергоёмкость, устройства FACTS, средства автоматизации, качество электроэнергии.

Вопросы максимально эффективной работы электроэнергетических систем (ЭЭС) государств или же крупных геополитических объединений остаются актуальными на сегодняшний день и имеют стратегический характер в силу доминирующего положения электроэнергии (ЭЭ) как универсального и относительно удобного вида энергоресурса для передачи и её преобразования на далёкие расстояния. Задача повышения энергоэффективности ЭЭС является общей как для генерирующих электричество компаний, сетевых организаций, так и для конечных крупных потребителей. Общий характер задачи, необходимость совместных усилий в области энергосбережения обуславливается присутствием потерь энергии на всех этапах её передачи (генерации источником, передачи через системообразующую, распределительную электрические сети, распределения на подстанциях потребителей), величины которых определяются характерными особенностями каждого этапа, и влиянием этих потерь на каждого участника ЭЭС.

Одними из показателей, отражающих качество ЭЭ, регламентируемых ГОСТ 32144–2013, являются медленные и одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливаемые изменениями нагрузок в электроустановках потребителей. К показателям также относится и не синусоидальность напряжения, вызываемая присутствием в ЭЭС нелинейных нагрузок различных типов. Поддержание качества ЭЭ и минимизация энергопотерь являются неотъемлемыми условиями реализации устойчивых, энергоэффективных технологических процессов (ТП) промышленных предприятий и обеспечения безопасных условий труда при их проведении [1, 2, 3]. Наибольшее предпочтение среди всех мероприятий по росту энергоэффективности производств отдаётся регулированию напряжения в узлах потребления и компенсации реактивной мощности (РМ). Последнее является комплексом мероприятий, направленных, в первую очередь, на поддержание перечисленных ранее параметров качества ЭЭ в допустимых пределах, симметрирование нагрузок, а также на недопущение перетоков в ЭЭС, встречных направлению потоков активной мощности (АМ) в сетях переменного трёхфазного тока, приводящих к росту токовой нагрузки, потерь АМ и напряжения. Математические взаимосвязи величины ре-

активной компоненты в ЭЭС и перечисленных явлений подробно расписаны в следующих источниках [3, 4, 5].

При отсутствии реализации технических мер по устранению первопричин завышенных нагрузок и энергопотерь перед предприятиями неизбежно будет возникать необходимость дополнительных финансовых затрат для расширения, обновления технического оснащения производственных распределительных сетей (приёмников электроэнергии, преобразователей, защитной и распределительной аппаратуры электросети).

Помимо вышеотмеченного, вопрос управления РМ на машиностроительных предприятиях и не только непосредственно влияет на: степень воздействия санитарно-гигиенических факторов на человека; полную энергоёмкость производств и удельную (технологическую) энергоёмкость продукции. Последнее определяет себестоимость изготавливаемой продукции и, соответственно, конкурентоспособность предприятий. На основании анализа иностранных и российских специалистов, доля энергетических ресурсов, в том числе и электроэнергии, составляет приблизительно 30–40 % конечной стоимости готовой продукции [4].

Проблема машиностроительных предприятий, заключающаяся в малой степени оснащённости энергоэффективными средствами регулирования ЭЭ (данная проблема особенно актуальна для мелкосерийных и единичных производств), также прослеживается через высокую удельную энергоёмкость выпускаемых изделий относительно энергоёмкости продукции большинства экономически развитых государств. Единая технологическая иерархическая энергосистема (ЕЭЭС) СССР, несмотря на свою эффективность в контексте сбалансированного обеспечения ЭЭ широких охватов территорий, была нацелена, прежде всего, на бесперебойность функционирования предприятий в условиях централизованной плановой экономики, и вопросы энергоёмкости продукции рассматривались редко, что является критическим аспектом при рыночной системе. Большая неравномерность расположения как энергогенерирующих источников, так и энергопотребителей привела к внушительной протяжённости распределительных сетей между ними. Как известно, линии электропередач (ЛЭП) представляют собой сложный электромагнитный компонент ЭЭС, способный как генерировать РМ, так и потреблять её, причём величина реактивного сопротивления в каждом случае пропорциональна длине линии [6 ,7].

Машиностроительные предприятия выделяются среди хозяйственных экономических субъектов обилием *потребителей* РМ, что характеризует машиностроительные ЭЭС как одну из наиболее важных областей для внедрения энергоэффективных технологий [4, 5]:

1) Асинхронные двигатели (АД), на долю которых приходится 60–70 % поглощения РМ, применяемые в:
— устройствах электропривода станочного оборудования (потребление РМ варьируется в зависимости от коэффициента загрузки АД);
— силовых общепромышленных установках ($\cos\varphi = 0{,}3 \div 0{,}8$) (вентиляционных, подъёмно-транспортных , насосно-компрессорных устройствах ($\cos\varphi = 0{,}8 \div 0{,}85$) и системах кондиционирования);
— электросварочных установках ($\cos\varphi = 0{,}7 \div 0{,}8$), обладающие мощностью до 1500 кВт, работающих в повторно-кратковременном режиме;
— прокатных установках, нагрузка которых по характеру периодическая, резкопеременная, ударная при прокате металла;
— кузнечнопрессовом оборудовании;
2) Электрические печи: печи сопротивления (косвенного и прямого действия) ($\cos\varphi = 0{,}7 \div 0{,}9$); индукционные плавильные печи ($\cos\varphi = 0{,}2 \div 0{,}8$); дуговые электрические печи (косвенного и прямого действия) ($\cos\varphi = 0{,}85 \div 0{,}9$); руднотермические печи и электрошлакового переплава ($\cos\varphi = 0{,}85 \div 0{,}92$);
3) Осветительные электроприборы: газоразрядные лампы, оснащённые дросселями ($\cos\varphi = 0{,}5 \div 0{,}6$); люминесцентные лампы; металлогалогенные лампы; дуговые ртутные люминесцентные лампы;

Печи, сварочные, прокатные, кузнечнопрессовые нагрузки можно отнести к единой группе потребителей РМ, существенно воздействующей на динамическую устойчивость ЭЭС машиностроительных предприятий за счёт резкопеременного характера нагрузки. Потребители, подключённые к общей точке энергосети вместе с устройствами данной группы, оказываются под воздействием колебаний напряжения, что сказывается на производительности их работы.

Вопрос статической и динамической устойчивости ЭЭС, генерации/потребления РМ для поддержания баланса мощностей производств, направленным на отсутствие дефицита РМ в энергосистеме, не является новым и имеет уже выработанные технические решения за прошедшее столетие в виде компенсационных устройств (КУ) FACTS первого поколения, обеспечивающие необходимый уровень компенсации РМ за счёт скалярного регулирования напряжения или РМ. К ним относятся коммутируемые статические КУ (статические компенсаторы, батареи статических конденсаторов (БСК), шунтирующие реакторы (ШР)), синхронные КУ (компенсаторы, двигатели и генераторы), трансформаторы с устройствами регулирования под нагрузкой и переключения без возбуждения. Недостатками перечисленных статических КУ являются отсутствие быстродействия, а также автоматического, плавного и непрерывного регулирования напряжения и РМ, при-

водящее к падению устойчивости работы нагрузки и понижению пропускной способности ЛЭП [8]. Плавное регулирование свойственно синхронным КУ, но они также обладают рядом существенных недостатков:

1) Синхронные генераторы плохо функционируют в режиме потребления РМ в связи с порчей изоляции вследствие перемагничивания стальных пластин сердечника, приводящего к нагреву обмоток статора.
2) Необходимость снижения выдаваемой АМ в сеть за счёт большой величины потребления АМ СД для снижения выработки РМ или перехода в режим потребления РМ.

Рис. 1.

Источник: составлено авторами

Таблица 1.

Характеристики и область применения устройств FACTS.

Наименование устройства	Тип действия	Предназначение	Тип воздействия на параметры сети
Батарея статических конденсаторов (БСК)	Поперечная компенсация	Ступенчатое регулирование РМ (напряжения) ЛЭП, вблизи нагрузки (индивидуальная компенсация). Возможна автоматизация. Применяются в сетях низких, средних, высоких напряжений (0,4–220 кВ)	Емкостное
Шунтирующие реакторы (ШР)	Поперечная компенсация	Компенсация емкостного сопротивления ЛЭП, шин подстанций сверхвысоких, высоких, средних вторых и первых напряжений (6–1150 кВ)	Индуктивное
Управляемые шунтирующие реакторы (УШР)	Поперечная компенсация	Плавное регулирование РМ (напряжения) на ЛЭП, шинах подстанций распределительных сетей, не предназначены для обеспечения требований устойчивости энергосети (110–500 кВ)	Индуктивное
Статические тиристорные компенсаторы (СТК) (SVC)	Поперечная компенсация	Плавное регулирование РМ (напряжения), предотвращение перегрузки, фильтрация гармоник, симметрирование напряжения в ЛЭП распределительных и магистральных сетей, повышение динамической устойчивости энергосетей. Малоэффективны в сетях низкого напряжения (3,3–765 кВ)	Универсальное
Реакторные группы, коммутируемые вакуумными выключателями (ВРГ)	Поперечная компенсация	Ступенчатое регулирование напряжения, компенсация зарядной мощности ЛЭП и в узлах нагрузки распределительных сетей высоких и средних напряжений, поддержание напряжения в необходимом диапазоне в установившихся режимах за счёт ограничения его уровня (6–35 кВ)	Индуктивное
Устройство продольной компенсации (УПК) (TCSC)	Продольная компенсация	Регулирование напряжения, ограничение тока КЗ, компенсация реактивного сопротивления ЛЭП высоких и сверхвысоких напряжений, повышение статической и динамической устойчивости ЛЭП (220–750 кВ)	Емкостное
Управляемое УПК (TCSC)	Продольная компенсация	Гибкая компенсация реактивного сопротивления ЛЭП высоких и сверхвысоких напряжений, ограничение тока КЗ, подавление субсинхронного резонанса, плавное управление перетоками мощности ЛЭП (220–500 кВ)	Емкостное
Синхронные двигатели (СД) (SM)	Поперечная компенсация	Плавное регулирование РМ, напряжения (индивидуальная компенсация). Применяются в составе технологического оборудования. Также устанавливаются на низком напряжении понижающих подстанций — 6 и 10 кВ	Универсальное
Синхронные компенсаторы (СК) (SC)	Поперечная компенсация	Непрерывное, плавное регулирование РМ (напряжения), стабилизация уровня напряжения, повышение динамической и статической устойчивости, снижение потерь ЭЭ в точках ЭЭС большого сосредоточения и широкого изменения нагрузок. Устанавливаются на низком напряжении понижающих подстанций — 6 и 10 кВ	Универсальное
Синхронные генераторы (СГ) (SG)	Поперечная компенсация	Плавное регулирование РМ, Устанавливаются на низком напряжении понижающих подстанций — 6 и 10 кВ	Универсальное
Статический синхронный компенсатор (СТАТКОМ) (STATCOM)	Поперечная компенсация	Компенсация РМ, управление величиной напряжения, подавление гармоник напряжения. Используется как в высоконагруженных, так и слабых сетях 0.96–38.5 кВ. Наиболее эффективен в последних	Универсальное
Статический синхронный компенсатор с накопителем (СТАТКОМ) (STATCOM)	Поперечная компенсация	Комбинация СТАТКОМА и накопителя электрической энергии для выравнивания графиков нагрузки в сети (высвобождение накопленной ЭЭ в ЭЭС в моменты её дефицита)	Универсальное
Распределительный статический синхронный компенсатор (Д-СТАТКОМ) (D-STATCOM)	Поперечная компенсация	Разновидность СТАТКОМа, применяемая в сетях среднего напряжения (распределительных сетях). Компенсация РМ, управление величиной напряжения, подавление гармоник напряжения	Универсальное

Наименование устройства	Тип действия	Предназначение	Тип воздействия на параметры сети
Фазоповоротное устройство (фазосдвигающий трансформатор (ФСТ/ФПУ) (TCPAR)	Комбинированная компенсация	Контроль АМ, регулировка фазы напряжения, перераспределение потоков мощности по параллельным ЛЭП. Подавление колебаний. Рост пропускной способности электросетей. Не применяются для динамической стабилизации режимов функционирования энергопередачи (35…800 кВ)	Фазорегулирующее
Фазовращающийся трансформатор (ФВТ) (PST)	Комбинированная компенсация	Динамическое управление потоками мощности для компенсации перегрузки, изменение уровня напряжения, фазного угла. Повышение стабильности системы, динамической безопасности (120…220 кВ)	Фазорегулирующее
Асинхронизированные компенасаторы (АСК)	Продольная компенсация	Регулирование РМ, напряжения и его фазы вектора, перераспределение потоков мощности по параллельным линиям, повышение пропускной способности электропередачи, рост статической и динамической устойчивости ЭЭС всех напряжений, наиболее эффективны в слабых сетях. Разновидность АСК с маховиком на валу применяется в сетях с резкопеременными нагрузками (110…500 кВ)	Универсальное
Асинхронизированные генераторы (АСГ)	Продольная компенсация	Независимое регулирование РМ и АМ. Рост статической и динамической устойчивости систем передачи электроэнергии, ЭЭС. Повышение качества управления переходными процессами	Универсальное
Асинхронизированные синхронные электропреобразователи частоты (АС ЭМПЧ)	Комбинированная компенсация	Предназначение схоже с ВПТН Обладают высокой перегрузочной способностью. Передача энергии между двумя ЭЭС с целью предотвращения аварийных ситуаций. Питание нагрузок в сети, крайне восприимчивых к колебаниям напряжения (220 кВ)	Универсальное
Объединённый регулятор потока мощности (ОРМП) (UPFC)	Комбинированная компенсация	Компенсация РМ и АМ, управление потоком РМ и АМ в линии, корректировка угла сдвига фаз напряжений по концам ЛЭП, стабилизация напряжения, ограничение тока КЗ, управление реактивным сопротивлением, рост пропускной способности и динамической устойчивости ЛЭП	Универсальное
Динамический восстановитель напряжения (ДВН) (DVR)	Продольная компенсация	Компенсация РМ и АМ, гармоник напряжения. Защита чувствительных нагрузок от искажений и провалов напряжения источника питания, вызванных КЗ, перегрузкой или запуском электродвигателей. Стабилизация режимов функционирования энергопередачи	Универсальное
Объединенный (параллельно-последовательный) кондиционер качества электроэнергии (UPQC)	Комбинированная компенсация	Одновременная компенсация по току и напряжению. Компенсация РМ нагрузки. Компенсация гармоник напряжения, устранение дисбаланса нелинейной нагрузки и источника питания. Подключаются в системах распределения ЭЭ вблизи нагрузок, генерирующих гармонические токи. UPQC состоит из комбинированных шунтирующих и последовательных активных фильтров	Универсальное
Устройство управления распределением мощности между линиями (IPFC)	Комбинированная компенсация	Передача АМ между линиями электропитания для уравнения потоков АМ и РМ между ними, снижения нагрузки на перегруженных линиях, компенсации падения напряжения. Повышение устойчивости ЭЭС	Универсальное
Статический синхронный продольный компенсатор (ССПК) (SSSC)	Продольная компенсация	Управление реактивным сопротивлением линии. Корректировка угла сдвига фаз, стабилизация напряжения, ограничение тока КЗ, демпфирование колебаний энергосистемы, рост её статической и динамической устойчивости	Универсальное
Вставка постоянного тока (ВПТ) (Thyristor based DC link)	Комбинированная компенсация	Преобразование трёхфазного тока в постоянный и снова в переменный исходной или же иной частоты для (не)синхронного объединения двух энергосистем для повышения пропускной способности ЛЭП. Неприменимы в электрических сетях с дефицитом РМ на уровне, требуемом для работы ВПТ. Автономный режим работы невозможен	Универсальное
Вставка постоянного тока на преобразователях напряжения (ВПТН) (STATCOM based DC link)	Комбинированная компенсация	Регулирование, управление перетоками РМ и АМ в широком диапазоне при несинхронном объединении энергосистем. Предусматривается возможность работы в автономном режиме	Универсальное

Источник: составлено авторами

В силу вышеотмеченных недостатков перечисленных КУ, они не способны в полной мере обеспечивать полноценную реализацию энергоэффективных промышленных ТП в условиях многокритериальности задачи оптимизации энергосетей, учитывающей в каждом конкретном случае весомые различия производств, отражающихся в разновидностях электроприёмников, числе и мест их размещения, величинах напряжения для питания энергосистем предприятий т.д. Данное обстоятельство обуславливает внедрение более широкого спектра активно-адаптивных средств регулирования ЭЭ и компенсации, относящихся к технологиям FACTS (в частности второго поколения) — программно-аппаратных гибких технических систем передачи переменного тока, реализованных на базе современной силовой электроники, выполняющие регулирование по параметрам величины напряжения, фазового угла, АМ и РМ. Управление перечисленными параметрами при помощи FACTS направленно на исполнение двух целей: поддерживать поток мощности ЭЭС в заданных пределах, обеспечивающих устойчивость ЭЭС и повышении пропускной способности ЭЭС в нормальных и аварийных условиях [9].

Создание активно-адаптивных, высокоавтоматизированных интегрированных интеллектуальных; внедрение высокоавтоматизированных подстанций различного класса напряжения в ЭЭС; сетей контроля, средств учёта ЭЭ; новых КУ, относящихся к аппаратной базе устройств FACTS, а особенно методов их управления, является ключевым и актуальным направлениями во всём в мире, а также развивающихся странах. В РФ перечисленные задача отражены в правовой плоскости, в частности, в программе ПАО «Россети» инновационного развития энергосистемы РФ на период 2024–2029 гг., в распоряжении Правительства РФ N 1715-р об Энергетической стратегии на период до 2023 года.

Все устройства FACTS можно проклассифицировать следующим образом. Управляемые системы электропередачи можно разделить по типу воздействия на три группы: устройства поперечного действия (подключаемые к сетям параллельно), регулирующие РМ и напряжение; устройства продольного действия (подключаемые последовательно в сети), изменяющие сопротивления сетей, воздействуя на параметры ЭЭ опосредовано; группа устройств комбинированного воздействия, обладающие свойствами первых двух групп (рис. 1). Предназначение каждого устройства приведено в табл. № 1.

Перечень существующих FACTS-устройств широк, большинство приведённых средств регулирования ЭЭ (ОРПМ, предназначено для применения в сетях высокого и сверхвысокого напряжения (магистральных сетях) для решения вопроса не только компенсации РМ, но и перераспределения потоков мощности. Если затрагивать ЭЭС машиностроительных предприятий, то необходимо обратить внимание на разновидности компенсаторов СТАТКОМ для наиболее точной компенсации РМ вблизи нагрузок (индивидуальная компенсация). При групповой компенсации возможно внедрение помимо СТАТКОМов большей мощности UPQC, DVR. Для понижающих подстанций предприятий предпочтительно внедрение УШР, ВРГ и управляемых СТК. В связи с этим, создание высокоавтоматизированных систем компенсации, контроля и учёта ЭЭ, в которых устройства FACTS являются низшим звеном, лежит в совместной области ответственности каждого участника рынка ЭЭ, взаимно влияющих друг на друга. В России внедрение передовых активно-адаптивных устройств в ЭЭС затруднено дефицитом узкоспециализированных специалистов, обладающих опытом внедрения подобных систем, малым количеством производителей на территории страны устройств FACTS второго поколения и слабой реализацией в практической плоскости законодательных актов, направленных на модернизацию ЭЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванова Н.А., Рябов С.А., Шварцбург Л.Э. Оценка экологичности технологических процессов на основе их интегрального экологического показателя / Н.А. Иванова, С.А. Рябов, Л.Э. Шварцбург // Вестник машиностроения. — 2015. — № 9. — с. 36–38.
2. Шварцбург Л.Э., Иванова Н.А., Рябов С.А. Энергетический анализ и экологичность технологических процессов механообработки / Л.Э. Шварцбург, Н.А. Иванова, С.А. Рябов, Д.И. Кулизаде // Вестник МГТУ «Станкин». — 2021. — № 4(59). — с. 30–34.
3. Герасимов С.Е., Иванов С.А., Кузнецов А.А. Качество электроэнергии, источники и средства компенсации реактивной мощности в электроэнергетических системах: учебное пособие [и др.]. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2021. — 100 с. — ISBN 978-5-7422-7361-5. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/116131.html (дата обращения: 11.09.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
4. Полковниченко Д.В. Основные вопросы эффективной эксплуатации электроэнергетических систем: учебное пособие / Д.В. Полковниченко, А.А. Булгаков, И.Б. Гуляева. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. — 376 с. — ISBN 978-5-9729-1501-9. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/133236.html (дата обращения: 15.12.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.
5. Кобозев В.А. Качество электроэнергии и энергоэффективность систем электроснабжения потребителей: учебное пособие / В.А. Кобозев, И.В. Лыгин. — Москва, Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. — 356 с. — ISBN 978-5-9729-0770-0. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/124201.html (дата обращения: 11.12.2024). — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

6. Бердников Р.Н., Бушуев В.В., Васильев С.Н., Концепция интеллектуальной электроэнергетической системы России с активно-адаптивной сетью: Одобрено Правлением ОАО «ФСК ЕЭС» 28.04.2012 / Р. Н. Бердников, В. В. Бушуев, С. Н. Васильев [и др.]. — Москва: Научно-технический центр федеральной сетевой компании единой энергетической системы, 2012. — 235 с.
7. Романова А.С. Анализ энергоемкости гальванического комплекса машиностроительного производства / А.С. Романова, М.Б. Микушин, А.Ю. Воеводин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. — 2021. — Т. 29, № 4(72). — С. 44–55.
8. Васильев А.С. Управляемые электропередачи на базе силовой электроники. Ч.1. Методическое и технологическое обеспечение управления режимом по напряжению и реактивной мощности: учебное пособие / А.С. Васильев, Р.А. Уфа. — Томск: Томский политехнический университет, 2021. — 142 с. — ISBN 978-5-4387-1030-1 (ч.1), 978-5-4387-1029-5. — Текст: электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART: [сайт]. — URL: https://www.iprbookshop.ru/134355.html (дата обращения: 07.02.2025). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
9. Leonard L. Grigsby the Electric Power Engineering Handbook — Five Volume Set. Power Systems. United States of America: CRC Press, 2018. — p.542

© Князев Владислав Валерьевич (driver1796@yandex.ru); Шварцбург Леонид Эфраимович (lesh@stankin.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.23

ДИЗАЙН-СИСТЕМА ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ПОД ПЛАТФОРМУ IOS

DESIGN SYSTEM FOR APPLICATIONS ON THE IOS PLATFORM

M. Konovalov
V. Amosov
A. Petrov

Summary. The article describes a new design system for applications on the iOS platform. It presents a study of existing solutions and identifies their shortcomings. A new development process is proposed, aimed at increasing design efficiency using ready-made components and templates. This reduces the labor costs associated with creating new elements and screen forms and allows any changes made to the design system to be automatically propagated throughout the entire application. This approach simplifies the process of updating and maintaining relevance, as well as enhances consistency in appearance and interaction across the entire application. Users navigate the interface more quickly when it adheres to a unified visual and functional style.

Keywords: design system, Swift, iOS, Human Interface Guidelines, Accessibility, technology stack, UI components, framework, CI/CD processes, MVC architecture, pattern, token, theming, backward compatibility, versioning, testing.

Коновалов Михаил Андреевич
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
konovalov2.ma@edu.spbstu.ru
Амосов Владимир Владимирович
Кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
amosov_vv@spbstu.ru
Петров Александр Владимирович
Старший преподаватель, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
petrov_av@spbstu.ru

Аннотация. Статья описывает новую дизайн-систему для приложений под платформу iOS. Приводится исследование существующих решений и выделяются их недостатки. Предлагается новый процесс разработки, направленный на повышение эффективности проектирования за счет использования готовых компонентов и шаблонов. Это сокращает трудозатраты на создание новых элементов, экранных форм и позволяет автоматически распространять любые изменения, внесенные в дизайн систему на все приложение, что упрощает процесс обновления и поддержания актуальности, а также повышает единообразие внешнего вида и взаимодействия в рамках всего приложения. Пользователи быстрее ориентируются в интерфейсе, если он подчиняется единому визуальному и функциональному стилю.

Ключевые слова: дизайн-система, Swift, iOS, Human Interface Guidelines, Accessibility, технологический стек, UI-компоненты, фреймворк, CI/CD процессы, архитектура MVC, паттерн, токен, темизация, обратная совместимость, версионирование, тестирование.

Введение

Современная разработка мобильных приложений требует создания эффективных решений для проектирования интерфейсов, которые отвечают требованиям удобства, гибкости и доступности. Разработка дизайн-системы актуальна в условиях увеличивающейся сложности мобильных приложений и растущей потребности в единообразии, эффективности и масштабируемости.

Однако текущие подходы имеют ряд недостатков, связанных с ограниченной адаптивностью, сложностью внедрения и поддержания консистентности.

Цель данной работы — предложить и опробовать новый процесс создания дизайн-системы, которая учитывает специфику iOS-приложений и повышает их пользовательскую ценность. А также подобрать необходимый стек и архитектуру для разработки.

Основные проблемы при создании дизайн-систем iOS

При создании дизайн-систем для iOS возникают несколько ключевых проблем. Несмотря на унифицированность платформы, необходимо учитывать разнообразие устройств, таких как iPhone и iPad, с различными размерами и типами экранов. Поддержание консистентности представляет сложность, поскольку требуется соблюдение единого стиля при обновлениях и добавлении нового функционала. Важно также отслеживать изменения внутри компонентов, чтобы сохранять однородный вид приложений. Интеграция дизайн-системы в существующие проекты часто вызывает трудности у команд разработчиков. Кроме того, необходимо учитывать требования доступности, обеспечивая соответствие стандартам для пользователей с ограниченными возможностями, такими как увеличение шрифта и поддержка озвучивания Voice Over. Поддержка темной темы требует дополнительного внимания к дизайну и технической реализации при переключении между светлой и темной

вариантами интерфейса. Все эти проблемы требуют решений, обеспечивающих адаптивность, удобство использования и бесшовную интеграцию дизайн-системы. Обзор существующих решений.

Существует несколько подходов к созданию дизайн-систем, которые применяются разработчиками iOS-приложений:

Human Interface Guidelines [1] (HIG) — руководство Apple, описывающее принципы создания интерфейсов. HIG устанавливает базовые правила, но не предоставляет готовых решений для разработки дизайн-системы.

Open source дизайн-системы [2]: Например, Material Design от Google или IBM Carbon. Эти системы рассматриваются, так как предоставляют структурированный подход к созданию интерфейсов и включают в себя инструменты, которые могут быть адаптированы для работы с iOS, несмотря на их изначальную ориентацию на другие платформы. Эти решения часто слишком обобщены и не учитывают особенностей экосистемы iOS.

Коммерческие дизайн-системы [3]: Многие компании разрабатывают собственные системы (Uber, Atlassian Design Syste), что приводит к значительным затратам на проектирование и поддержку. Так же эти дизайн системы зачастую содержат не достаточное количество компонентов. Кроме того, достаточно часто коммерческие дизайн системы невозможно пере использовать даже на другие продукты того же бренда.

Основной недостаток существующих решений — отсутствие гибкости и интеграции с инструментами разработки iOS. Они не учитывают все особенности платформы iOS.

Способы решения проблем

Для устранения выявленных недостатков и проблем в разработке дизайн-системы предлагается комплексный подход, начинающийся с исследования требований. В этом этапе проводится тщательный анализ продукта, определяется ключевые сценарии использования и создается дизайн основных базовых компонентов, которые будут применяться в большинстве сценариев. Далее осуществляется разработка собственных стилей, включающая создание палитры цветов, адаптированной под различные темы, а также разработку собственной системы шрифтов с поддержкой динамических шрифтов.

Следующим шагом является создание библиотеки компонентов, где разрабатываются универсальные UI-компоненты, соответствующие рекомендациям HIG. Эти компоненты создаются по принципу модульности, что позволяет разбивать их на более мелкие элементы, ускоряя процесс разработки новых компонентов и упрощая поддержку существующих. При этом обеспечивается наличие настраиваемых параметров для адаптации под различные размеры экранов и продукты, а также поддержка смены тем и функций доступности на уровне компонентов. Баланс достигается за счет строгого следования рекомендациям HIG, где стандартное поведение компонентов закладывается как основа, а кастомизация ограничивается рамками, не нарушающими согласованность дизайна. Это обеспечивается использованием предустановленных значений, ограничений параметров и строгим тестированием на соответствие базовым требованиям.

Интеграция дизайн-системы с инструментами разработки выполняется посредством использования autolayout или SwiftUI для создания адаптивных интерфейсов, снепшот тестирования для стабилизации внешнего вида компонентов и подключения к процессам CI/CD для автоматического тестирования компонентов. Для обеспечения поддержки и масштабируемости внедряется система версионирования для каждого отдельного компонента, разрабатывается документация, доступная как для дизайнеров, так и для разработчиков, а также создаются основные сценарии использования, такие как статусные экраны и экраны ошибок, для их унифицированного применения в рамках всего проекта.

Дополнительно создается приложение, в котором представлены все компоненты в различных конфигурациях, включая разные состояния, размеры, темы и настройки доступности. Это упрощает процесс тестирования компонентов и способствует лучшему пониманию их возможностей и способов использования, что значительно облегчает интеграцию дизайн-системы в существующие проекты.

Реализация дизайн системы

Дизайн система была реализована на языке программирования Swift [5] — родном языке платформы iOS. Она представляет из себя фреймворк распространяемый с помощью менеджера пакетов Cocoapods [6] и SwiftPackage [7]. Это позволяет распространить дизайн систему сразу на несколько проектов. Кроме того, имеется демо-приложение, в котором представлены все компоненты и возможности дизайн системы.

Для создания палитры была использована система токенов. Токены разбиваются на отдельные списки перечисления, которые относятся к определенной категории принадлежности. Например, список токенов для задания цвета текста, фона, иконок. Токен представляет из себя название цвета из палитры например primary или secondary и является абстракцией над настоящим значением цвета. Это нужно чтобы поддерживать различные

значения цветов в разных темах, кроме того, использование абстракции значительно упрощает рефакторинг.

Верстка компонентов реализована на основе системных компонентов нативного фреймворка UIKit. Кроме того, для поддержки нового фреймворка для верстки SwiftUI, компоненты дизайн системы были переведены на него с помощью подхода UIRepresentableView [8]. Это позволило не переписывать все компоненты на новый фреймворк.

Новые компоненты верстаются с SwiftUI. Для поддержки обратной совместимости с UIKit используется UIHostingControlle [9]. Это так же позволяет убрать поддержку двух реализаций компонента. При этом остается возможность полноценно использовать компонент в экранах реализованных с помощью разных фреймворков.

Архитектура реализации компонентов

Архитектура реализации компонентов представлена на Рисунке 1. Она заключается в декомпозиции компонентов на базовые элементы [10]. Данная архитектура имеет следующие преимущества:

- Компоненты разделены на несколько уровней (модулей), это позволяет пере использовать их и подменять реализацию при необходимости
- При изменении реализации на определенном уровне, изменения сразу попадают во все места использования компонента.

При реализации компонентов использовалась архитектура MVC [11].

С iOS 13 Apple добавила встроенную возможность поддержки темной темы. При создании объекта цвета можно было сразу указать значения для светлой и темной и при изменении система сама их применит. Но такой подход имеет один большой недостаток, невозможно добавить поддержку еще одной темы. Поэтому возникла необходимость реализации своего механизма.

Реализация темизации была основана на паттерне *Notifications* (рассылки) [12]. Схема работы представлена на Рисунке 2. Каждый компонент подписывается на события и при обновлении на основе значения токена из объекта палитры (или из токена шрифта) берется необходимое значение.

Аналогичный подход используется для реализации работы динамических шрифтов.

Стоит отметить, что на стороне дизайн системы происходит работа с загрузкой картинок внутри компонентов. Для этого создан объект AsyncImage, в который достаточно передать ссылку на изображение, и он самостоятельно загрузит его и отобразит. Для работы с изображениями был реализован отдельный сервис, который грузит изображение из сети, далее сохраняет его в кэш. Для оптимизации отрисовки изображений они дополнительно обрабатываются с использованием механизма downsampling [13]. Так как обработка изображений тяжелая операция, она вынесена в отдельную очередь с помощью фреймворка GCD [14].

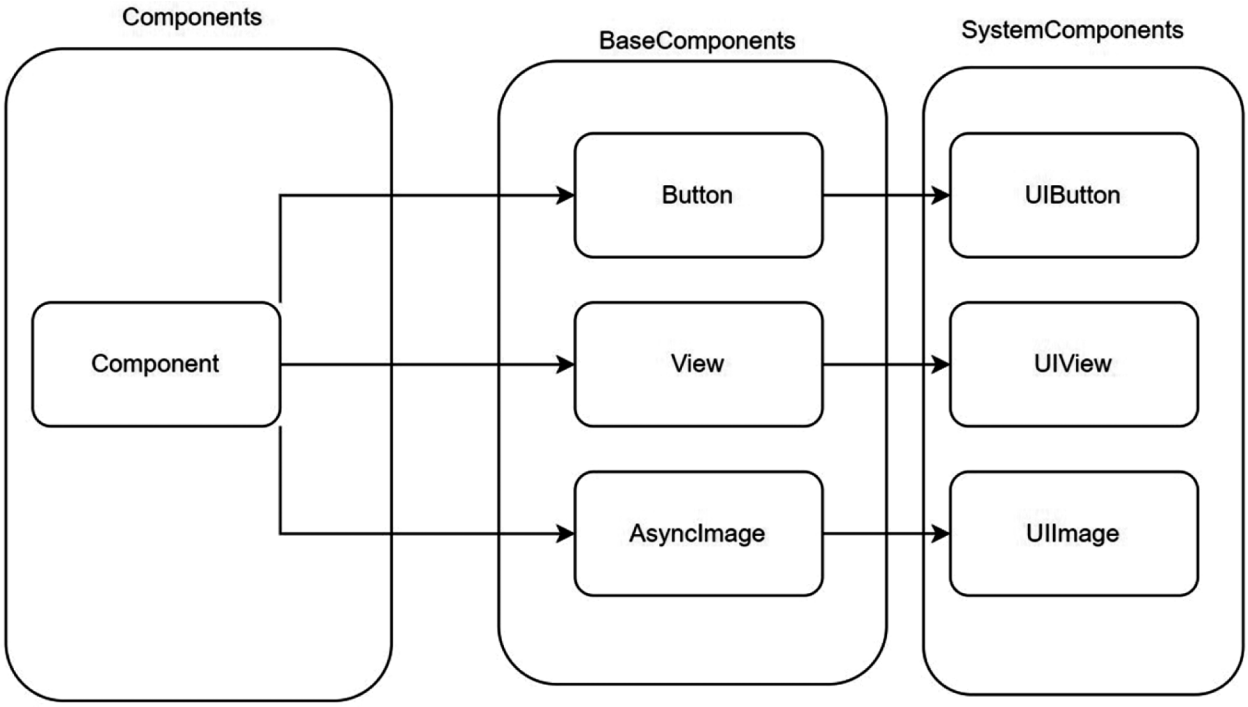


Рис. 1. Архитектура создания компонента

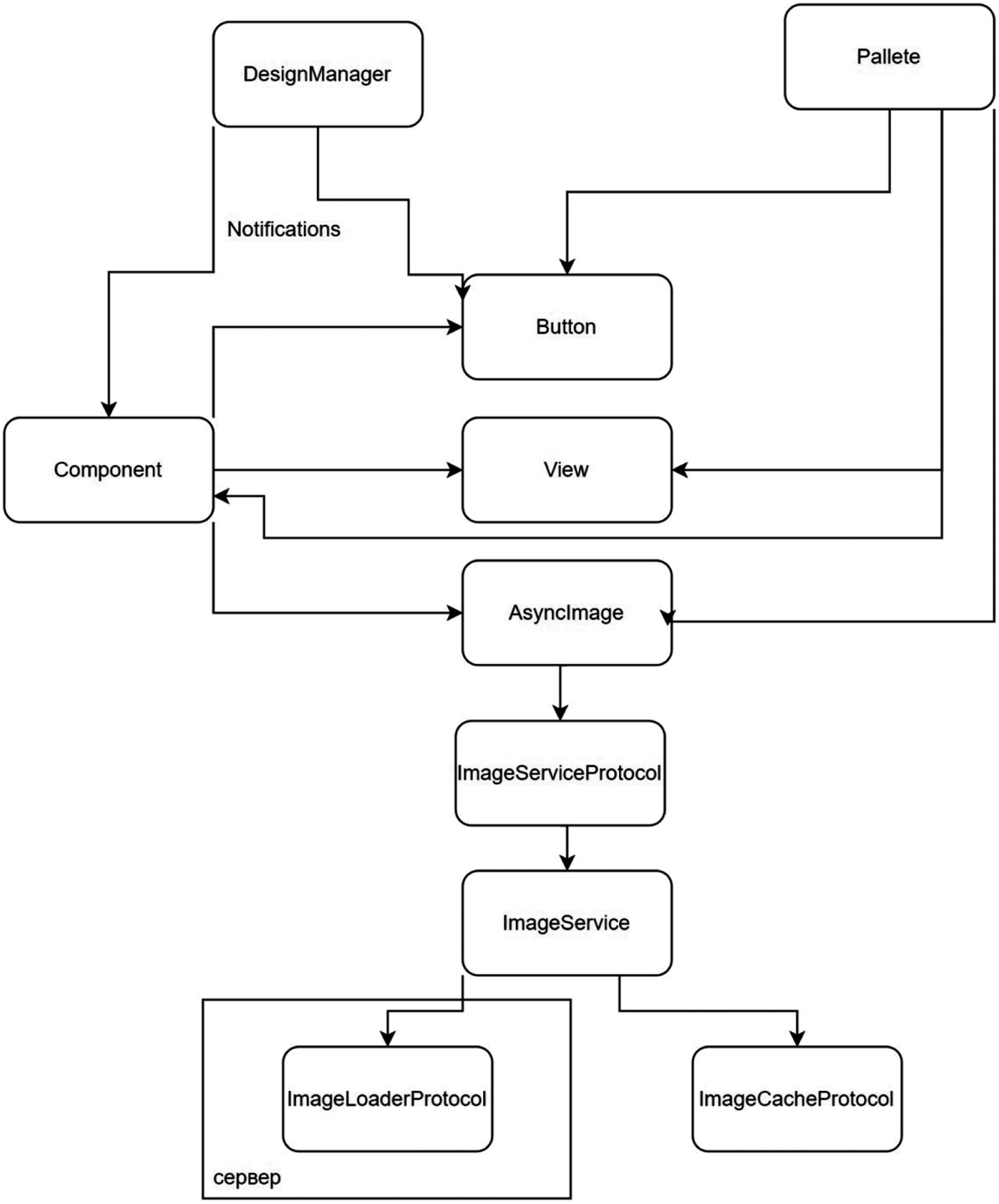


Рис. 2. Архитектура реализации темизации

Реализация обратной совместимости фреймворка дизайн-системы iOS

Одной из ключевых задач при разработке и поддержке дизайн-систем является обеспечение обратной совместимости. Это особенно важно в условиях, когда множество проектов и команд зависят от стабильности и предсказуемости фреймворка.

Для обеспечения обратной совместимости необходимо учитывать:

1. **Семантическое версионирование.** Использование семантического версионирования позволяет четко обозначать изменения в API. Формат версии MAJOR.MINOR.PATCH указывает на уровень изменений.
2. **Тестирование на совместимость.** Регулярное тестирование на совместимость с предыдущими

версиями позволяет выявлять потенциальные проблемы на ранних этапах. Для этого можно использовать инструменты, такие как:

XCTest[15] для модульного и интеграционного тестирования;

Snapshot Testing[16] (например, с использованием библиотеки Snapshot Testing) для визуального регрессионного тестирования.

3. **Ведение документации.** При внесении изменений, нарушающих обратную совместимость, важно предоставлять подробную документацию, которые помогут разработчикам адаптировать свой код к новой версии. Для этого в swift есть аннотация deprecated, которая подсвечивает устаревшую функциональность и подсказывает что использовать взамен.

Всё вышеперечисленное автоматизируется добавлением в проект CI/CD [17]. Можно настроить автоматическое поднятие версии библиотеки на основе изменений, добавить этап тестирования кода при внесении изменений.

Кроме того, можно настроить автоматический выпуск новой версии тестового приложения для фреймворка при наличии изменений.

Итоги

В статье рассмотрены существующие подходы к созданию дизайн-систем для iOS-приложений и предложен и опробован новый процесс разработки дизайн-системы, учитывающий специфику платформы. Были рассмотрены существующие дизайн системы. Предложенный новый процесс учитывает и решает проблемы присущие существующим решениям. Новый процесс разработки дизайн-системы реализован в виде фреймворка на языке программирования Swift, распространяемого с помощью менеджера пакетов Cocoapods и SwiftPackage. В результате анализа были выявлены основные требования, которым должна соответствовать программная реализация дизайн системы на платформе iOS. Предложена архитектура и технологический стек для реализации дизайн системы. Новый процесс разработки дизайн-системы направлен на повышение эффективности её проектирования за счёт использования готовых компонентов и шаблонов, это сокращает трудозатраты на создание новых элементов и позволяет любые изменения, внесенные в дизайн-систему, автоматически распространять на всё приложение. Это упрощает процесс обновления и поддержания актуальности, а также повышает единообразие или согласованность внешнего вида и взаимодействия в рамках всего приложения. Пользователи быстрее ориентируются в интерфейсе, если он подчиняется единому визуальному и функциональному стилю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Apple. Human Interface Guidelines [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://developer.apple.com/design/human-interface-guidelines/. (дата обращения: 10.02.2025).
2. Material Design Guidelines [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://material.io/design. (дата обращения: 10.02.2025).
3. UXPin. «13 Best Design System Examples in 2024». — Режим доступа: https://www.uxpin.com/studio/blog/best-design-system-examples/.
4. SwiftUI Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://developer.apple.com/documentation/swiftui. (дата обращения: 10.02.2025).
5. The Swift Programming Language Book [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.swift.org/documentation/. (дата обращения: 10.02.2025).
6. Cocoapods documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://cocoapods.org/. (дата обращения: 10.02.2025).
7. SPM Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.swift.org/documentation/package-manager/. (дата обращения: 10.02.2025).
8. UIViewRepresentable explained to host UIView instances in SwiftUI [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.avanderlee.com/swiftui/integrating-swiftui-with-uikit/. (дата обращения: 10.02.2025).
9. SwiftUI in UIKit View Controllers with UIHostingController [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://medium.com/@max.codes/use-swiftui-in-uikit-view-controllers-with-uihostingcontroller-8fe68dfc523b. (дата обращения: 10.02.2025).
10. Сидоров Д.А Comparative Analysis of Component-Based Architectures in Web Design for Scalable Applications. — Холодная наука, 2024. — 24 с.
11. Булыга А.И. Анализ и сравнение архитектурных шаблонов проектирования, используемых при разработке мобильных приложений для платформы iOS. — Научный журнал, № 1(63), 2022.
12. Nyisztor K., Nyisztor M. Design Patterns in Swift 5 — Razeware LLC, 2019. — 277 с.
13. iOS: Downsampling for Improved Performance [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://medium.com/codex/ios-downsampling-for-improved-performance-ed03b5e7627e. (дата обращения: 10.02.2025).
14. Todorov M. Modern Concurrency in Swift — Razeware LLC, 2021. — 273 с.
15. Apple Inc. XCTest Documentation. — Официальная документация Apple [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://developer.apple.com/documentation/xctest. (дата обращения: 10.02.2025).
16. GitHub. SnapshotTesting Library [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://github.com/pointfreeco/swift-snapshot-testing. (дата обращения: 10.02.2025).
17. Potter B. Continuous Integration and Delivery for Mobile Apps — O'Reilly Media, 2018. — 240 с.

18. Norman D.A. The Design of Everyday Things: Revised and Expanded Edition. — Basic Books, 2013.
19. Brown A. Designing for Accessibility. — Smashing Magazine. — Режим доступа: https://www.smashingmagazine.com/designing-for-accessibility/. (дата обращения: 10.02.2025).
20. Google. Material Design for iOS [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://material.io/design/platform-guidance/ios. (дата обращения: 10.02.2025).
21. Atlassian. Design System Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://atlassian.design. (дата обращения: 10.02.2025).
22. IBM. Carbon Design System [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://carbondesignsystem.com. (дата обращения: 10.02.2025).
23. Uber. Base Design System [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://baseweb.design. (дата обращения: 10.02.2025).
24. Lightning Design System [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.lightningdesignsystem.com/. (дата обращения: 10.02.2025).

© Коновалов Михаил Андреевич (konovalov2.ma@edu.spbstu.ru); Амосов Владимир Владимирович (amosov_vv@spbstu.ru);
Петров Александр Владимирович (petrov_av@spbstu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.27

АНАЛИЗ ТЕХНИК ОПТИМИЗАЦИИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ: КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД

ANALYSIS OF WEB APPLICATION PERFORMANCE OPTIMIZATION TECHNIQUES: A COMPREHENSIVE APPROACH

M. Malyavin

Summary. With the rapid development of Internet technologies and the increasing demands on the speed, reliability and scalability of web applications, their performance is becoming a critical aspect determining the success of digital solutions. The relevance of the research is due to the need to develop and implement effective optimization methods that can increase download speeds, reduce the load on server resources, and improve user experience. The purpose of this work is a systematic analysis of modern techniques and strategies for improving the performance of web applications, including computing resource management, caching mechanisms, the use of content delivery networks, asynchronous data loading, and other approaches. The research examines the principles of operation of these methods, their effectiveness in various operational scenarios, as well as their impact on key performance indicators of web applications. The practical significance of the article is to provide a comprehensive overview of optimization techniques that allows developers and web technology specialists to reasonably select and apply the most effective solutions to improve the performance of web services. The results obtained can be use in the design and modernization of web applications, ensuring their high speed, load resistance and compliance with modern requirements for user experience.

Keywords: performance optimization, web applications, resource minimization, caching, CDN, asynchronous loading, user experience, business metrics.

Малявин Максим Юрьевич
аспирант, Московский информационно-технологический университет
max-malyavin@bk.ru

Аннотация. В условиях стремительного развития интернет-технологий и роста требований к скорости, надежности и масштабируемости веб-приложений их производительность становится критически важным аспектом, определяющим успешность цифровых решений. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки и внедрения эффективных методов оптимизации, позволяющих повысить скорость загрузки, снизить нагрузку на серверные ресурсы и улучшить пользовательский опыт. Целью данной работы является систематизированный анализ современных техник и стратегий повышения производительности веб-приложений, включая управление вычислительными ресурсами, механизмы кэширования, применение сетей доставки контента, асинхронную загрузку данных и другие подходы. В ходе исследования рассмотрены принципы функционирования указанных методов, их эффективность в различных сценариях эксплуатации, а также влияние на ключевые показатели качества работы веб-приложений. Практическая значимость статьи заключается в предоставлении комплексного обзора оптимизационных техник, позволяющего разработчикам и специалистам в области веб-технологий обоснованно выбирать и применять наиболее эффективные решения для улучшения производительности веб-сервисов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и модернизации веб-приложений, обеспечивая их высокую скорость работы, устойчивость к нагрузкам и соответствие современным требованиям к пользовательскому опыту.

Ключевые слова: оптимизация производительности, веб-приложения, минимизация ресурсов, кэширование, CDN, асинхронная загрузка, пользовательский опыт, бизнес-метрики.

Согласно исследованиям Mordor Intelligence, к 2027 году рынок технологий, направленных на оптимизацию веб-производительности, будет демонстрировать среднегодовой темп роста на уровне 8,72 %, что отражает возрастающую значимость данной области для цифровой экономики [1]. В современном мире, насыщенном информационными технологиями, веб-приложения являются неотъемлемым элементом различных сфер деятельности, включая бизнес, образование, медицину и индустрию развлечений. В связи с этим их производительность представляет собой критический фактор, определяющий уровень удовлетворенности пользователей и конкурентоспособность компаний, предоставляющих онлайн-сервисы.

Рост объема передаваемых данных и усложнение архитектуры веб-приложений приводят к необходимости разработки и внедрения эффективных методов повышения их скорости загрузки и обработки информации [2]. Оптимизация производительности веб-приложений требует комплексного подхода, включающего применение различных инструментов и технологий, эффективность которых зависит от конкретных условий эксплуатации и особенностей реализации программных решений. В рамках настоящей статьи проведена систематизация современных методов и техник оптимизации веб-производительности, а также дана оценка их влияния на ключевые показатели эффективности и пользовательский опыт. Основной целью исследования является разработка комплексного подхода к улучшению произ-

водительности веб-приложений, учитывающего как технические аспекты, так и влияние на восприятие сервиса пользователями, что способствует формированию более эффективных стратегий разработки и эксплуатации веб-систем.

Цель исследования

Целью данного исследования является разработка комплексного подхода к оптимизации производительности веб-приложений, включая систематизацию современных методов и техник, таких как эффективное использование ресурсов, кэширование, применение CDN, асинхронная загрузка и другие. В работе также ставится задача оценить влияние этих методов на ключевые бизнес-метрики и пользовательский опыт, с учетом уникальных особенностей различных веб-приложений.

Теоретический обзор

Согласно данным, опубликованным аналитиками Market Research Future в конце января 2025 года, в 2024 году совокупные расходы на веб-разработку в мире достигли 57,31 миллиарда долларов. Этот показатель превысил уровень 2023 года, когда затраты составляли 54,48 миллиарда долларов, что соответствует росту примерно на 5 % [3]. По прогнозам, к 2035 году объем рынка может увеличиться почти вдвое, приблизившись к отметке в 100 миллиардов долларов (рис. 1).

В условиях непрерывного развития веб-технологий и увеличения требований к скорости работы онлайн-приложений задача оптимизации их производительности приобретает критически важное значение. По мнению автора, эффективность функционирования интернет-приложений определяется совокупностью ключевых показателей, среди которых особое внимание уделяется времени загрузки контента, скорости обработки пользовательских запросов и общей отзывчивости интерфейса. Как отмечают в своем исследовании Е.В. Фешина, С.А. Куштанок, Е.С. Мальцевой и С.А. Золотарёва, такие параметры, как время от первого байта до полной интерактивности, оказывают непосредственное влияние не только на пользовательский опыт, но и на ранжирование веб-ресурсов в поисковых системах, что делает их оптимизацию приоритетной задачей [4]. В результате анализа современных подходов к повышению производительности веб-приложений можно выделить несколько ключевых стратегий. В первую очередь это сжатие и оптимизация ресурсов, включающие уменьшение размеров файлов CSS и JavaScript, а также внедрение методов компрессии изображений. По оценке автора, данный метод позволяет существенно снизить объем передаваемых данных, сокращая время загрузки страниц и уменьшая нагрузку на серверную инфраструктуру.

На основе изложенного можно утверждать, что стратегии кэширования также играют важную роль в повышении скорости веб-приложений. Как отмечает Е.П. Кравцов, правильно настроенное кэширование позволяет сохранять ранее загруженные элементы в локальном хранилище браузера, обеспечивая мгновенный доступ к контенту при повторных посещениях [5]. Данный подход снижает сетевую задержку и уменьшает потребление серверных ресурсов, что особенно важно для высоконагруженных веб-систем. Одним из наиболее эффективных решений, согласно исследованию, является использование сетей доставки контента (CDN), обеспечивающих распределение данных между серверами в различных регионах мира. Применение данной технологии позволяет минимизировать задержки при передаче информации и повысить отказоустойчивость системы, что особенно актуально для глобальных веб-сервисов с высокой посещаемостью.

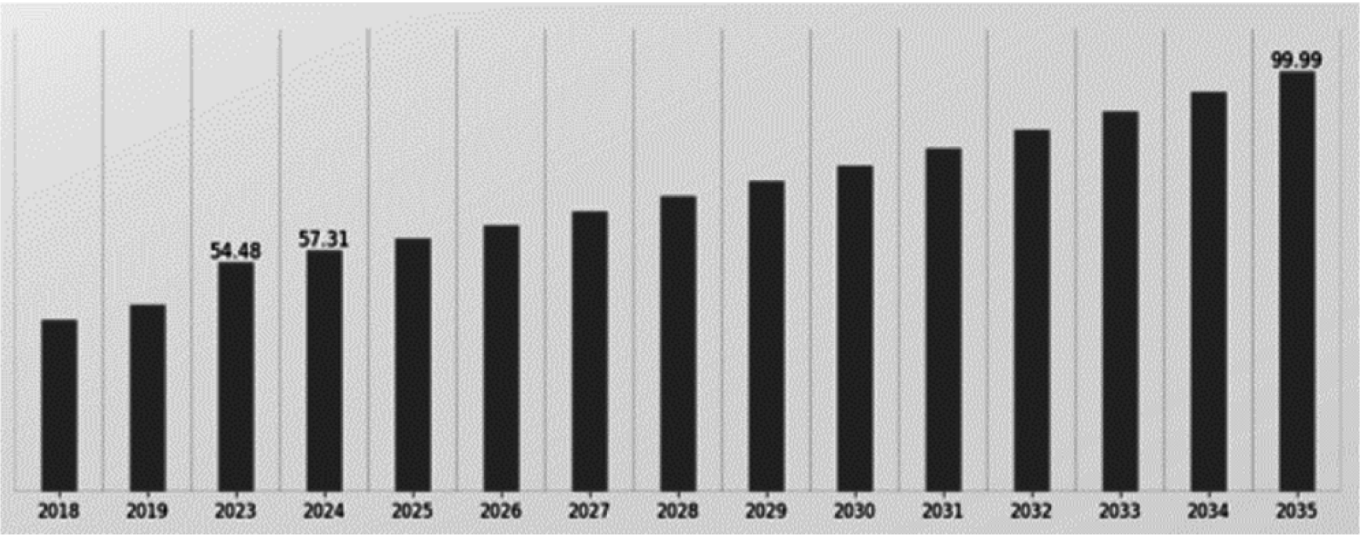


Рис. 1. Динамика объема рынка веб-приложений, млрд долл. США

В продолжение вышесказанного следует рассмотреть методы асинхронной загрузки и отложенного рендеринга, которые, по мнению автора, способствуют формированию ощущения быстродействия интерфейса. Данные технологии позволяют пользователям начать взаимодействие с веб-приложением еще до полной загрузки всех его компонентов, что особенно эффективно при работе с динамическим контентом и сложными мультимедийными объектами. Также, выбор архитектурного подхода к разработке веб-приложений оказывает существенное влияние на их производительность. По результату анализа автором различных моделей построения серверных и клиентских частей системы, можно отметить, что микросервисная архитектура, в отличие от монолитного подхода, способствует лучшей масштабируемости и распределению нагрузки, что делает ее предпочтительным вариантом для высоконагруженных платформ. Настоящее исследование представляет собой обзор ключевых методов оптимизации веб-приложений с акцентом на их практическое применение. В последующих разделах работы будет проведен детальный анализ эффективности указанных решений, включая их влияние на основные метрики производительности и пользовательского взаимодействия.

Методология исследования

Основная задача исследования заключается в тщательном изучении и оценке методов улучшения производительности онлайн-приложений, с акцентом на их влияние на ключевые показатели эффективности и опыт конечных пользователей. В ходе исследования были применены различные подходы к сбору и анализу данных, что позволило нам обеспечить всестороннее понимание эффективности разнообразных стратегий оптимизации.

Подходы к сбору данных:

— Мониторинг показателей производительности. Внедрение инструментов для мониторинга времени загрузки страниц и других важных метрик, что дает возможность собрать достоверные данные о производительности веб-приложений.
— Лабораторное тестирование. Организация экспериментов в контролируемой среде для изучения поведения приложений под различными условиями, что способствует выявлению оптимальных решений для ускорения загрузки.
— Анализ реального пользовательского опыта (RUM). Исследование интеракций настоящих пользователей с сайтом для оценки производительности приложения в реальных условиях эксплуатации.

Критерии для оценки результативности:

— Сокращение времени полной загрузки. Измерение уменьшения задержек при отображении контента, что напрямую влияет на удовлетворенность посетителей сайта.
— Улучшение восприятия скорости загрузки. Анализ влияния оптимизации на субъективное восприятие быстродействия сайта пользователями, включая мгновенное отклик на действия.
— Повышение ключевых метрик веб-витальности. Улучшение показателей, таких как LCP, FID и CLS, что способствует повышению общей удовлетворенности пользователей и улучшению позиций в поисковых системах.
— Увеличение стабильности и доступности. Оценка способности веб-приложений обеспечивать непрерывный доступ к сервисам и стабильную работу даже при высоких нагрузках.

Данный методологический подход дает возможность не только оценить эффективность различных техник оптимизации, но и понять их комплексное воздействие на производительность веб-приложений и удовлетворенность пользователей. В следующих разделах представлен детальный анализ полученных результатов и их обсуждение с точки зрения применимости и значимости для разработчиков веб-приложений.

Анализ и результаты

Исследование охватывает широкий спектр стратегий повышения производительности интернет-платформ, включая сокращение объема передаваемых данных, применение передовых технологий кэширования и развертывание контента через глобальные сети доставки. По оценке автора, комплексное использование данных методов оказывает значительное влияние на быстродействие и эффективность веб-ресурсов. На основе анализа авторов Д.А. Дворяка выделены ключевые направления оптимизации [6]:

— оптимизация объема данных — уменьшение размера файлов кода и медиаконтента позволяет снизить время загрузки на 20–40 %, что, по мнению авторов, положительно влияет на пользовательское восприятие скорости работы веб-приложений;
— механизмы кэширования — настройка повторного использования ранее загруженных ресурсов способствует ускорению загрузки страниц до 70 % при повторных посещениях, что существенно повышает удобство взаимодействия с платформой;
— использование сетей доставки контента (CDN) — распределение данных по серверам CDN сокращает время отклика для пользователей, особенно находящихся в удаленных регионах, что, по оценке авторов, ускоряет загрузку на 50–60 %;
— асинхронная загрузка и динамическое представление данных — внедрение механизмов асинхронной загрузки и динамического отображения

контента сокращает время до полной интерактивности на 30–50 %, обеспечивая, по мнению авторов, более плавный пользовательский опыт;
— выбор архитектурного решения — анализ различных архитектур показал, что серверный рендеринг (SSR) позволяет добиться меньшего времени первичной загрузки, тогда как микросервисная модель, по оценке авторов, обладает преимуществами в гибкости и масштабируемости.

По результату анализа автором установлено, что достижение высокой производительности веб-приложений требует системного подхода, включающего оптимальное сочетание стратегий с учетом особенностей конкретного проекта. Н.В. Логиновой отмечает, что выбор наиболее эффективных инструментов и методик, адаптированных к специфическим требованиям, является определяющим фактором успешной оптимизации [7]. Далее представлены результаты разработки автором настоящей статьи табл. 1, в которой отражены ключевые методы повышения производительности интернет-платформ в 2025 году, а также их влияние на скорость загрузки и пользовательский опыт. Материалы в таблице представляет собой результат структурированного обзора ключевых методов, направленных на повышение производительности интернет-платформ в 2025 году. В ней отражены основные подходы к оптимизации, их влияние на скорость загрузки и пользовательский опыт. Данные в таблице позволяют оценить эффективность различных технологий и определить наиболее подходящие решения для конкретных веб-проектов с учетом их специфики и требований.

Таблица 1.
Основные методы повышения производительности интернет-платформ в 2025 году

№	Метод оптимизации	Ожидаемый прирост производительности	Влияние на пользовательский опыт
1	Оптимизация объема данных (сжатие файлов кода, изображений, видео)	20–40 %	Снижение времени загрузки, повышение удобства работы с сайтом
2	Использование механизмов кэширования	До 70 %	Ускорение повторных загрузок страниц, снижение нагрузки на сервер
3	Развертывание контента через CDN	50–60 %	Повышение доступности контента для пользователей в удаленных регионах
4	Внедрение асинхронной загрузки и динамического представления контента	30–50 %	Улучшение восприятия скорости загрузки, сокращение времени до полной интерактивности
5	Выбор эффективной архитектуры (SSR, микросервисы)	Различается в зависимости от проекта (от 10 до 50 %)	Оптимизация баланса между скоростью загрузки и масштабируемостью

Анализ результатов исследования

В результате проведенного анализа автором настоящей статьи установлено, что процесс оптимизации веб-приложений представляет собой многослойную задачу, требующую комплексного подхода. Первое — это улучшение производительности интернет-ресурсов определяется взаимодействием различных методов ускорения загрузки страниц, что подчеркивает необходимость их интегрированного применения. По мнению автора, ключевым аспектом повышения эффективности веб-приложений является не изолированное использование отдельных технологий, а их согласованное сочетание. В ходе анализа выявлено, что комбинированное применение методов оптимизации, включая сжатие данных, механизмы кэширования и сети доставки контента (CDN), может обеспечивать прирост скорости загрузки до 60–80 % в зависимости от архитектуры веб-ресурса и характера контента.

Второе — улучшение пользовательского опыта. Скорость отклика интернет-ресурсов оказывает значительное влияние на поведение пользователей. По оценке автора, уменьшение времени загрузки страниц на 1 секунду способно повысить коэффициент удержания аудитории на 5–10 %, а задержка в 3 секунды увеличивает вероятность отказа от взаимодействия с сайтом на 32 %. Эти данные подтверждают, что инвестиции в повышение производительности являются неотъемлемой частью стратегии повышения удовлетворенности пользователей.

Третье — влияние на ключевые бизнес-метрики. Результаты анализа свидетельствуют о том, что высокая скорость загрузки веб-приложений оказывает положительное влияние на коммерческие показатели [8]. В частности, улучшение времени отклика страниц на 100 миллисекунд способно увеличить коэффициент конверсии на 7 %, а снижение времени загрузки с 3 до 2 секунд может повысить видимость ресурса в поисковых системах на 10–15 %. Данный фактор является критически важным для компаний, ориентированных на рост онлайн-аудитории и повышение конкурентоспособности.

В продолжение вышесказанного перспективы дальнейших исследований в области оптимизации веб-приложений связаны с внедрением новых протоколов

передачи данных, таких как HTTP/3, и расширением использования алгоритмов адаптивного рендеринга. По мнению автора, применение этих технологий способно дополнительно сократить задержку загрузки на 20–30 %, обеспечивая более стабильное функционирование веб-ресурсов в условиях изменяющейся сетевой инфраструктуры [9]. На основе изложенного можно заключить, что комплексный подход к оптимизации интернет-платформ является решающим фактором их эффективности, влияя как на пользовательский опыт, так и на бизнес-метрики. Дальнейшие исследования в данной области представляют значительный интерес для развития цифровых технологий и обеспечения стабильности работы интернет-ресурсов.

Выводы

Результаты проведенного анализа подтверждают, что обеспечение высокой производительности веб-приложений представляет собой сложную и многогранную задачу, требующую системного подхода и постоянного контроля за динамикой изменений в цифровой среде на момент 2025 года. Данные приведенного исследования могут служить ориентиром для разработчиков и владельцев интернет-ресурсов, содействуя их усилиям по совершенствованию пользовательского опыта и укреплению конкурентных позиций. Анализ показал, что оптимизация веб-приложений не является разовым мероприятием, а представляет собой непрерывный процесс, включающий мониторинг, тестирование и адаптацию к изменяющимся условиям функционирования сети и пользовательским ожиданиям. Представленные в работе результаты содержат значимые практические рекомендации для специалистов, занимающихся разработкой и модернизацией интернет-ресурсов, стимулируя их к поиску инновационных решений для достижения высокой производительности и повышения удовлетворенности пользователей.

Вектор дальнейших исследований в данной области предполагает разработку и внедрение новых технологий, направленных на повышение скорости и стабильности веб-ресурсов. В частности, перспективным направлением является интеграция передовых методов сжатия данных, применение протоколов нового поколения (таких как HTTP/3), а также использование адаптивных алгоритмов рендеринга. Эти меры способны значительно повысить эффективность цифровых сервисов, обеспечивая их широкую доступность и удобство использования. Как итог, достижение высокой производительности веб-приложений остается актуальной задачей, требующей комплексного подхода и постоянного совершенствования методов оптимизации. Дальнейшие исследования в данной сфере способны внести существенный вклад в развитие интернет-технологий, способствуя повышению скорости, доступности и удобства цифрового взаимодействия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ размера и доли рынка веб-производительности — тенденции роста и прогнозы (2024–2029 гг.). Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.mordor intelligence.com/ru/industry-reports/web-performance-market (дата обращения 22.02.2025 г.).
2. Мельников М.О. Оптимизация Django веб-приложений с помощью пулера соединений pgbouncer // Системы управления, сложные системы: моделирование, устойчивость, стабилизация, интеллектуальные технологии: материалы VII Международной научно-практической конференции, Елец. 2021. С. 211–214.
3. Веб-разработка (мировой рынок). Электронный ресурс. Режим доступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Веб-разработка_(мировой_рынок) (дата обращения 23.02.2025 г.).
4. Фешина Е.В., Куштанок С.А., Мальцева Е.С., Золотарёв С.А. Web-технологии для развития экономики предприятий // ЕГИ. 2023. № 1 (45). С. 269–271.
5. Кравцов Е.П. Эффективное отображение изображений в браузере: техники и стратегии // Проблемы науки. 2024. №4 (85). С. 16–21.
6. Дворяк Д.А. Разработка алгоритмов и методов для оптимизации работы веб-приложения // Инновационная наука. 2024. №2–2. С. 31–36.
7. Логинова Н.В. Методы оптимизации производительности web-приложений // Наука и образование сегодня. 2024. №1 (78). С. 4–10.
8. Красильников И.С. Методы оптимизации и повышения скорости работы клиентской части веб-приложения // Научные труды магистрантов и аспирантов: Сборник научных трудов. Нижневартовский государственный университет, 2020. С. 174–178.
9. Летон Г., Глазько П.Е. Исследование методологии оптимизации рендеринга компонентов на примере Svelte // XI Конгресс молодых учёных: Сборник научных трудов, Санкт-Петербург. 2022. С. 231–234.

© Малявин Максим Юрьевич (max-malyavin@bk.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.29

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЕ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГИБРИДНОЙ ЗАЩИТЫ СОВРЕМЕННЫХ СУПЕРКОМПЬЮТЕРОВ В УСЛОВИЯХ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ КИБЕРВОЙН

SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR PROVIDING HYBRID PROTECTION OF MODERN SUPERCOMPUTERS IN THE CONDITIONS OF NETWORK-CENTRIC CYBERWARS

A. Molyakov

Summary. The article describes the subsystem for ensuring information security of the «Angara» EC1740 series supercomputers developed by the author, implemented based on the «Alfa-Monitor» multi-domain hypervisor and «Angara-MVS» switches with the implementation of hybrid protection methods. The scientific and technological solution is based on the reactive protection method and the method of reconfiguring the proactive protection environment, which allow detecting any types of computer attacks at all levels of the request execution hierarchy and counteracting them by automatically reconfiguring the configuration structure of the executable environment.

Keywords: «Angara» EC1740, secure multi-domain hypervisor, hybrid protection.

Моляков Андрей Сергеевич
Кандидат технических наук, доцент,
Российский государственный гуманитарный университет, г. Москва
andrei_molyakov@mail.ru

Аннотация. В статье описывается разработанная автором подсистема обеспечения информационной безопасности суперкомпьютеров серии «Ангара» ЕС1740, реализованная на базе мультидоменного гипервизора «Альфа-монитор» и коммутаторов «Ангара-МВС» с реализацией методов гибридной защиты. Научно-технологическое решение основано на методе реактивной защиты и методе реконфигурации среды проактивной защиты, позволяющие обнаруживать любые типы компьютерных атак на всех уровнях иерархии выполнения запросов и противодействовать им путем автоматической реконфигурации структуры конфигурации исполняемой среды.

Ключевые слова: «Ангара» ЕС1740, защищенный мультидоменный гипервизор, гибридная защита.

Введение

В современных условиях стационарные и бортовые суперкомпьютеры играют ключевую роль в решении важнейших военных задач, включая автоматизированное управление системами вооружения, координацию разведывательно-ударных групп, а также создание автономных боевых роботов. Эти разработки напрямую связаны с концепциями войн шестого поколения.

При создании стационарных и бортовых суперкомпьютеров сегодня невозможно обойтись без виртуализации их аппаратной части. Такой подход повышает гибкость использования оборудования, позволяя одновременно работать с различными операционными системами (ОС) в рамках сложных аппаратно-программных комплексов.

Это также способствует улучшению производительности и энергоэффективности, а также предоставляет возможность реконфигурации, что важно не только для восстановления после сбоев, но и для защиты от кибератак и других специальных воздействий.

Виртуализация аппаратной части суперкомпьютеров также открывает новые возможности для интеграции искусственного интеллекта (ИИ) в военные системы. Это позволяет создавать адаптивные алгоритмы, способные анализировать большие объемы данных в реальном времени, прогнозировать действия противника и принимать решения с минимальным вмешательством человека. Такие системы могут быть использованы для управления беспилотными летательными аппаратами, автоматизации логистики и даже для разработки стратегий ведения боевых действий.

Кроме того, виртуализация способствует повышению уровня кибербезопасности. Возможность быстрой реконфигурации систем позволяет оперативно реагировать на угрозы, минимизируя уязвимости. Это особенно важно в условиях, когда противник использует сложные методы кибератак, включая внедрение вредоносного программного обеспечения (ПО).

1. Недостатки современных технологий защиты информации в высокопроизводительных вычислительных комплексах

Современные программно-технические решения, внедренные в оборонно-промышленный комплекс Рос-

сии, ориентированы на классические вычислительные кластеры, не учитывая инновационные суперкомпьютерные технологии, такие как многоядерность, высокопараллельность, асинхронность обработки данных, сложные иерархические сети и др. Без этих элементов невозможно эффективно противостоять внешним угрозам и выявлять новые риски на всех уровнях архитектуры суперкомпьютеров.

Использование гибридных вычислителей с гибкой настройкой окружения, мультитредовой архитектурой для сбора метрик и защищенных мультидоменных гипервизоров, а также внедрение специализированных внутрикристальных и межмодульных сетей позволяют не только преодолеть отставание в производительности, но и опередить потенциальных противников в сетецентрических войнах.

Современные системы защиты высокопроизводительных вычислительных комплексов имеют ряд недостатков. Во-первых, сложность элементной базы увеличивает риск внедрения вредоносных компонентов. Во-вторых, высококвалифицированные пользователи повышают вероятность внутренних атак. В-третьих, атаки часто поддерживаются государственными структурами (например, иностранными спецслужбами). В-четвертых, злоумышленники могут быстро анализировать уязвимости и проводить масштабные атаки.

Особую угрозу представляет использование импортных компонентов, таких как GPU-ускорители, которые могут быть источником внутренних рисков. Ни физическая изоляция, ни отключение от сетей не гарантируют безопасность, так как угрозы заложены в самой архитектуре.

Для минимизации рисков необходимо внедрение отечественных решений, основанных на принципах доверенной элементной базы и аппаратной верификации. Разработка специализированных процессоров с поддержкой многоядерности и асинхронных вычислений, а также создание защищенных межмодульных сетей с динамической маршрутизацией позволят снизить зависимость от импортных технологий. Важным шагом является интеграция систем мониторинга на уровне аппаратного обеспечения, способных выявлять аномалии в режиме реального времени.

Ключевым элементом защиты становится использование мультидоменных гипервизоров, обеспечивающих изоляцию критически важных процессов и данных. Такие системы должны поддерживать гибкую настройку окружения, адаптируясь к изменяющимся угрозам.

Использование специализированных внутрикристальных сетей с поддержкой сложных иерархий и высокопараллельных вычислений позволит повысить производительность и устойчивость к атакам.

Для противодействия внутренним угрозам необходимо также внедрение систем контроля доступа на основе поведенческого анализа и машинного обучения. Это позволит выявлять аномалии в действиях пользователей и предотвращать утечки данных. Одновременно требуется развитие технологий защиты от атак, эксплуатирующих уязвимости в архитектуре импортных компонентов, включая GPU-ускорители.

2. Новые задачи обеспечения информационной безопасности в связи с появлением суперкомпьютеров

Для обеспечения безопасности суперкомпьютеров требуется внедрение многоуровневой защиты, включающей комплексный контроль их функционирования. Обработка значительных объемов данных, поступающих от таких систем мониторинга, требует применения специализированных аппаратно-программных решений.

Для решения подобных задач создаются массово-мультитредовые суперкомпьютеры, где проблема длительных задержек при доступе к памяти устраняется за счет оптимизации работы приложений и оборудования. Это позволяет достичь высокой пропускной способности памяти, создавая эффект минимальных задержек при выполнении операций. Например, в США, Японии и Китае активно разрабатываются такие системы и их компонентная база.

Основная угроза для российских суперкомпьютеров связана с использованием импортных компонентов, таких как высокоскоростные микропроцессоры и ускорители. Важно исследовать возможные аппаратные закладки, методы их выявления и устранения.

Необходимо возродить отечественные разработки в области элементной базы и архитектуры суперкомпьютеров, устойчивых к атакам, сбоям и отказам. Для минимизации рисков, связанных с использованием импортных компонентов, нужно развивать отечественные технологии производства процессоров, памяти и других критически важных элементов. Это требует значительных инвестиций в научные исследования, разработку новых архитектур и создание производственных мощностей.

Особое внимание следует уделить созданию систем, устойчивых к кибератакам, включая защиту от аппаратных закладок и программных уязвимостей. Важным шагом станет интеграция отечественных суперкомпьютеров в глобальные исследовательские проекты, что позволит не только повысить их конкурентоспособность,

но и обеспечить обмен опытом с ведущими мировыми разработчиками.

При этом необходимо учитывать современные тенденции, такие как использование квантовых вычислений и нейроморфных архитектур, которые могут стать основой для следующего поколения суперкомпьютеров.

Для успешной реализации таких проектов требуется тесное взаимодействие между государством, научными институтами и частным сектором. Только комплексный подход к созданию и защите суперкомпьютеров позволит России сохранить технологический суверенитет и конкурировать на мировом уровне.

Необходимо модернизировать образовательные программы, внедряя в них современные подходы к изучению микроэлектроники, квантовых технологий и кибербезопасности. Создание специализированных центров компетенций и лабораторий позволит студентам и молодым ученым работать с передовым оборудованием и участвовать в инновационных проектах.

Кроме того, важно стимулировать экспорт отечественных решений в области суперкомпьютеров и микроэлектроники. Это не только укрепит экономику, но и повысит доверие к российским технологиям на международной арене в рамках БРИКС и др.

3. Подсистема обеспечения информационной безопасности современных суперкомпьютеров на базе технологических модулей «Альфа-монитор»

Гибридная защита суперкомпьютеров предполагает интеграцию различных методов и технологий для обеспечения комплексной безопасности. Одним из ключевых подходов является сочетание аппаратных и программных решений.

Аппаратные методы включают использование специализированных модулей безопасности, таких как криптографические процессоры, которые обеспечивают защиту данных на физическом уровне.

Программные методы, в свою очередь, охватывают системы мониторинга, анализа угроз и управления доступом, что позволяет оперативно выявлять и нейтрализовать компьютерные атаки.

Кроме того, гибридная защита включает использование проактивной и реактивной защиты, многофакторной аутентификации и распределенных систем хранения данных. Это позволяет минимизировать риски утечки информации и обеспечить отказоустойчивость системы. Таким образом, гибридная защита суперкомпьютеров представляет собой многоуровневую систему, которая сочетает передовые технологии для обеспечения максимальной безопасности и устойчивости к кибератакам.

Метод реконфигурации среды выполнения программ проактивной защиты суперкомпьютерных комплексов с учетом мобильности позволяет формировать изолированную среду исполнения для различных типов суперкомпьютеров с гибкой настройкой окружения и контекста вызовов сервисов, а также сбором метрик приложений [1]. Это применимо не только для коммерческих зарубежных процессоров, но и для отечественных специализированных СБИС, таких как «КОМДИВ», «Байкал», «Эльбрус» и др.

Метод реактивной защиты, основанный на виртуализации среды выполнения, использует траектории вычислений для оценки безопасности состояний на структурах Крипке. Это позволяет разработать типовую технологию выявления уязвимостей и контролировать контекст и тайминг операций на недоверенном оборудовании [2].

На основе модели безопасных операций реализованы функции оценки состояния системы через «свертку» атрибутов процессов и конфигурации среды с заданной масштабируемостью, а с учетом модели угроз разработана технология следящих действий со стороны гипервизора и контроллеров транзакционной памяти [3, 4]. Показатели защиты адаптированы к задачам и требованиям передачи данных между мобильными (бортовыми) и стационарными суперкомпьютерными вычислительными системами.

Нами разработан многокомпонентный защищенный гипервизор, включающий проксирующие модули, верификатор команд и монитор безопасности [5, 6]. Подсистема безопасности суперкомпьютеров «Ангара» ЕС1740 использует гипервизор «Альфа-монитор» и коммутаторы «Ангара-МВС», поддерживая как зарубежные, так и отечественные защищенные ОС.

Гипервизор «Альфа-монитор» в связке с контроллерами аппаратной транзакционной памяти обеспечивает изоляцию вычислительных процессов, что позволяет минимизировать риски утечек данных и несанкционированного доступа. Он поддерживает динамическую адаптацию конфигурации среды выполнения в зависимости от текущих угроз и требований задач, а также механизмы автоматического восстановления после сбоев, что обеспечивает непрерывность выполнения критически важных задач. Для этого используются алгоритмы анализа траекторий вычислений, которые интегрированы в модуль верификации команд [7]. В случае обнаружения аномалий система переключается на резервные модули, сохраняя работоспособность без потери данных.

Интеграция с системами мониторинга и управления безопасностью позволяет оперативно реагировать на изменения в угрозах. Это особенно важно для работы в условиях высоконагруженных сред, где требуется минимизация задержек при обработке данных. Реализована также масштабируемость, что позволяет адаптировать систему под растущие нагрузки без снижения производительности [8]. Благодаря модульной архитектуре пользователи могут гибко настраивать функционал под конкретные задачи, добавляя или удаляя компоненты по мере необходимости. Это делает решение подходящим как для небольших проектов, так и для крупных корпоративных инфраструктур.

Важной его особенностью является поддержка виртуализации на уровне оборудования, что значительно повышает эффективность использования ресурсов. Это позволяет снизить затраты на обслуживание и энергопотребление, сохраняя при этом высокий уровень производительности. Также поддерживается миграция виртуальных машин между узлами без прерывания работы, что особенно важно для обеспечения отказоустойчивости.

Монитор безопасности гипервизора обеспечивает контроль за передачей данных между мобильными (бортовыми) и стационарными высокопроизводительными системами, включая проверку целостности и конфиденциальности информации.

Поддержка гибридных сред выполнения позволяет интегрировать решение в информационные системы с различными типами ОС, включая специализированные версии для суперкомпьютеров.

Заключение

Подводя итог проведенных теоретических и практических исследований, можно отметить следующее: нами разработано и реализовано научно-технологическое решение для экономики и техники РФ — это создание доверенной среды вычислений для национальных суперкомпьютерных платформ «Ангара» серии ЕС1740. Хотелось бы отметить, что допущения и предположения, основанные на разбиении системы на изолированные домены безопасности, интеграции с аппаратной транзакционной памятью и введении многоуровневого контроля взаимодействий, делающие недоверенную среду функционирования защищенной, подтверждены результатами стендовых испытаний.

В планах на будущее внедрить решение по гибридной защите для российского суперкомпьютера класса «Арктур», который содержит 16 вычислительных модулей по шесть ПЛИС XCVU37P Xilinx семейства UltraScale+ в каждом.

В части разработки и реализации перспективных национальных информационных систем с использованием суперкомпьютерных технологий в условиях сетецентрических войн сформулируем основные выводы:

1) Новые модели угроз целостности среды исполнения и модель безопасных операций позволяют создавать защищенные суперкомпьютерные комплексы с повышенными характеристиками сбоеустойчивости к внешним специальным воздействиям и новым классам компьютерных атак.
2) Новые авторские методы гибридной (реактивной и проактивной) защиты учитывают специфику суперкомпьютеров в целом (высокая производительность, высокопараллельные и асинхронные процессы, огромной поток данных и т.д.).
3) Запатентованная автором технология следящих действий со стороны гипервизора и контроллеров транзакционной памяти не допускает аварийного завершения работы ответственных приложений.
4) Учтены механизмы контроля работоспособности доступной кэш-памяти низкоуровневыми модулями гипервизора и контролеров памяти в процессе работы процессора на примере отечественных специализированных СБИС.
5) Если сейчас не учесть поддержку дальнейшего развития принципиально новых, прорывных проектно-конструкторских решений и их промышленного внедрения, отставание российской промышленности в части создания защищенных суперкомпьютерных комплексов Петафлопсного и более уровня производительности в дальнейшем уже не получится компенсировать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моляков А.С. Маркерное сканирование как новый научный подход в области создания защищенных информационных систем на примере ОС нового поколения Microtek / А.С. Моляков // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. — 2016. — № 1. — С. 29–36
2. Molyakov A.S. Based on reconfiguring the supercomputers runtime environment new security methods / A. Molyakov // Advances in Science, Technology and Engineering Systems. — 2020. — Vol. 5(3). — P. 291–298. — DOI 10.25046/aj050338.
3. Molyakov A.S. New security descriptor computing algorithm of Supercomputers / A. Molyakov // Proceedings of the 3rd World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability, WorldS4 2019. — 2019. — P. 349–350. — Art. No 8903965. — DOI 10.1109/WorldS4.2019.8903965.
4. Molyakov A.S. A prototype computer with non-von Neumann architecture based on strategic domestic J7 microprocessor / A.S. Molyakov // Automatic Control and Computer Sciences. — 2016. — Vol. 50, No. 8. — P. 682–686. — DOI 10.3103/S0146411616080137.

5. Патент № 2618367 C1 Российская Федерация, МПК G06F 12/02. Вычислительное устройство программно-аппаратного комплекса: № 2016110564: заявл. 23.03.2016: опубл. 03.05.2017, Бюл. 13 / А.С. Моляков; правообладатель Моляков А.С. — 2 с.: ил. 9.
6. Патент № 2626350 C1 Российская Федерация, МПК G06F 12/02. Способ функционирования операционной системы вычислительного устройства программно-аппаратного комплекса: № 2016113545: заявл. 11.04.2016: опубл. 26.07.2017, Бюл. 21 / А.С. Моляков; правообладатель Моляков А.С. — 2 с.: ил
7. Molyakov A.S. Secured supercomputer technologies in Russia: functional computing units based on multithread-stream cores with specialized accelerators / A.S. Molyakov // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2023. — Vol. 448. — P. 559–566. — DOI 10.1007/978-981-19-1610-6_49.
8. Моляков А.С. Инновационный вариант развития защищенных супер-ЭВМ для решения важных задач фундаментальной медицины и инженерии в России / А.С. Моляков // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2022. — № 4–2. — С. 88–93. — DOI 10.37882/2223–2966.2022.04–2.26.

© Моляков Андрей Сергеевич (andrei_molyakov@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.30

АЛГОРИТМЫ БЕРЕЖЛИВОГО УПРАВЛЕНИЯ СКЛАДСКИМИ ЗАПАСАМИ НА СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

ALGORITHMS OF SAFE MANAGEMENT OF STORAGE RESOURCES IN MODERN PRODUCTION

O. Nuyya
M. Sergeantova
A. Slabogorskaya
D. Krylov

Summary. The article presents a study on warehouse inventory management. The review of processes and strategies aimed at controlling the level of stocks and ensuring continuous supply of goods or services is made. The task is set based on existing methods and technologies of inventory management automation to create a console application for tracking the life cycle of the product nomenclature in the warehouse and further analysis and forecasting of its activity. Lean approach in the issue of inventory management will make it possible to optimize production and warehousing processes. The study presents the results of the algorithms developed by the authors, which were successfully implemented in the production program of the enterprise. As a result of the research, a software solution that meets the requirements of lean manufacturing was created, which will allow the enterprise to integrate technology into the production process, which will be the first stage of its transition to industry 5.0, where the interaction be-tween humans and software reaches a new level.

Keywords: automation of inventory management, online warehouse logistics, warehouse digitalization, lean manufacturing, warehouse complex analysis, console application, QR code of the item.

Нуйя Ольга Святославовна
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
olga.nuyya@ya.ru
Сержантова Майя Вячеславовна
кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
xyz43210@mail.ru
Слабогорская Алиса Алексеевна
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
alisaslabogorskaya@yandex.ru
Крылов Дмитрий Максимович
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
dm.krylov666@gmail.com

Аннотация. В статье представлено исследование, посвящённое управлению складскими запасами. Произведен обзора процессов и стратегий, направленных на контроль уровня запасов и обеспечение непрерывной поставки товаров или услуг. Ставится задача на основе существующих методов и технологий автоматизации управления запасами создать консольное приложения для отслеживания жизненного цикла номенклатуры товара на складе и дальнейшего анализа и прогнозирования ее активности. Бережливый подход в вопросе управления запасами позволит произвести оптимизацию производственных и складских процессов. В исследовании представлены результаты разработанных авторами алгоритмов, которые были успешно внедрены в производственную программу предприятия. В результате проведённых исследований было создано программное решение, отвечающее требованиям бережливого производства, которое позволит предприятию интегрировать технологию в производственный процесс, что будет первым этапом его перехода к индустрии 5.0, где взаимодействие человека и программного обеспечения достигает нового уровня.

Ключевые слова: автоматизация управления складским запасом, складская логистика в режиме онлайн, цифровизация склада, бережливое производство, анализ складского комплекса, консольное приложение, qr-код номенклатуры.

Введение

Исследуемая тема представляет собой важнейшую часть деятельности любого производства, независимо от его размера и отрасли. В условиях перехода промышленной революции в фазу «Индустрия 5.0», характеризующейся всепроникающей цифровизацией во все сферы производства, ключевой составляющей функционирования предприятия становится рационализация процедур контроля над товарными остаткамис использованием цифровых технологий.

Ускоренное продвижение инноваций и непрестанно меняющиеся запросы потребителей заставляют производство быть адаптивным и оперативно трансформироваться в духе времени. В настоящее время создание программного обеспечения для автоматизации контроля над хранением товарных запасов явля-

ется важной и обязательной задачей для увеличения способности контролировать жизненный цикл номенклатуры производимых товаров. Программное обеспечение, собирающее всю информацию о продукции на хранении, представляет собой превосходное решение, поскольку обеспечивает полную автоматизацию контроля над запасами на каждом этапе, потому что охватывает весь процесс от закупки товаров до их доставки потребителям.

Выделим основные цели управления запасами:

1. Обеспечение непрерывности производства: гарантирование наличия необходимых товаров для бесперебойного производства и выполнения заказов.
2. Минимизация издержек: снижение затрат на хранение, управление и обработка запасов через приложение.
3. Удовлетворение потребностей клиентов: обеспечение высокого уровня обслуживания клиентов за счет доступа к базе данных, где хранится вся информация о наличии товара.
4. Оптимизация уровня запасов: нахождение оптимального баланса товара на складе без риска нехватки или излишка товара.
5. Улучшение логистических и складских процессов: повышение эффективности и производительности складских операций, сокращение времени на поиск нужного товара на складе.
6. Минимизация рисков: уменьшение возможных потерь товара на складе [1-6].

Существующие методы и технологии автоматизации управления запасам

Грамотное управление складскими запасами на производстве позволяет эффективно распределять имеющиеся ресурсы предприятия и осуществлять увеличение рентабельности производства. Однако отметим, что программное обеспечение служит только инструментом для воплощения в жизнь методов управления запасами на складе с учетом поставленной задачи [6–8, 13–14].

В этой связи авторами произведён анализ основных вариантов классификации способов управления запасами (по сложности принятия решений, по периодичности заказа, по объему заказа) и сведен в таблицу 1.

Управление складскими запасами может вестись одним из вышеперечисленных методов или их комбинацией. Наиболее часто используемыми на практике методиками являются следующие:

1. Метод фиксированного запаса на складе.
2. Метод с фиксированным периодом заказов у поставщика.
3. Метод фиксированного заказа.

Таблица 1.

Классификации способов управления запасами

Сложность принятия решения	Периодичность заказа	Объем заказа
Одноуровневые, решения в которых принимаются на основании анализа одного показателя, например снижения уровня запаса склада до минимального уровня	Без фиксированной периодичности, при котором заказ делается по мере необходимости	С возможностью произвольно выбирать объем поставки
Многоуровневые, решения в которых принимаются на основе анализа нескольких складских показателей	С фиксированной периодичностью, которая обусловлена преимущественно минимально возможными сроками между поставками	С фиксированным размером заказа

4. Комбинированный метод фиксируемого уровня складских запасов и фиксированной периодичности.
5. Статический метод.
6. Экспертный подход.

Бережливое управление запасами основано на информационных технологиях, таких как программное обеспечение для управления запасами и штрих коды, QR-коды и единицы хранения (SKU) для отслеживания каждого товара. Это позволяет отслеживать запасы в режиме реального времени и поддерживать баланс между заказами товаров у поставщиков и продажами клиентам и как следствие избегать дефицита или избытка товаров [9,15].

Система бережливого управления запасами направлена на сокращение расходов, уменьшение потерь запасов и поиск способов постоянного совершенствования управления запасами.

Алгоритм разработки приложения для автоматизации управления складскими запасами

Первым шагом в разработке приложения является продумывание и построение архитектуры приложения. Архитектура приложения — это фундаментальная организация системы, включающая её компоненты, свойства этих компонентов и отношения между ними.

При проектировании архитектуры необходимо учитывать, как функциональные, так и нефункциональные требования. Функциональные требования описывают, что система должна делать, в то время как нефункцио-

нальные требования касаются качества, которым должна обладать система, таких как скорость обработки данных, удобство использования и уровень защищенности информации.

Дизайн архитектуры начинается с выбора подходящего стиля — это может быть многослойная архитектура, сервисно-ориентированная архитектура или микроуслуги. Каждый из этих стилей имеет свои преимущества и ограничения, и выбор зависит от специфики проекта и потребностей бизнеса. Важно провести тщательный анализ и моделирование, чтобы все компоненты системы взаимодействовали эффективно, обеспечивая при этом высокое качество конечного продукта.

Разработка Архитектуры включает в себя несколько взаимосвязанных этапов, каждый из которых играет ключевую роль в создании эффективной и оптимизированной системы. На первом этапе осуществляется выбор структурных элементов и их интерфейсов, где важно учитывать, как функциональные требования, так и особенности взаимодействия между элементами. Эти элементы должны быть проектированы так, чтобы их поведение в рамках системы способствовало продуктивному сотрудничеству и минимизировало возможные конфликты.

На втором этапе происходит соединение выбранных элементов в более крупные системы, что требует внимательного контроля за интеграцией и взаимодействием функциональных и нефункциональных требований. Этот процесс зачастую требует итеративного подхода, позволяющего адаптировать архитектуру по мере накопления опыта и выявления новых деталей.

Последний, но не менее важный этап — это определение архитектурного стиля, который задаёт рамки для всей организации. Он настраивает взаимосвязь между всеми элементами, их интерфейсами и способами сотрудничества, обеспечивая целостность и согласованность архитектурного решения. Это становится основой для дальнейшего развития системы и её адаптации к изменяющимся условиям.

Существует несколько различных типов архитектур, которые были созданы за все время существования разработки приложений и данных. Среди них: монолитная, клиент-серверная, распределенная, микросервисная.

Авторами используется клиент-серверная архитектура. В этой архитектуре сервер предоставляет ресурсы или сервисы, а клиент выполняет запросы к серверу для получения этих ресурсов или сервисов. В нашем случае сервер управляет базой данных, а приложения на Android и ПК выступают в роли клиентов, которые обращаются к серверу для выполнения операций с данными (добавление, удаление, чтение). Архитектура «клиент-сервер» представляет собой мощный и гибкий подход к организации взаимодействия между пользователями и системами. Благодаря централизованному управлению данными, все необходимые данные накапливаются на сервере, что облегчает их администрирование и защиту. Это позволяет администраторам эффективно выполнять обновления и создавать резервные копии, минимизируя риск потери информации.

Специализация архитектуры также играет ключевую роль: серверы, оптимизированные для обработки запросов и выполнения бизнес-логики, обеспечивают надежную и быструю работу, в то время как клиентские устройства фокусируются на создании интуитивно понятного пользовательского интерфейса. Такой подход позволяет максимально эффективно использовать ресурсы и улучшает взаимодействие пользователей с системой.

Масштабируемость системы является еще одним важным преимуществом архитектуры. Возможность увеличить мощность существующего сервера или добавить новые серверы позволяет системе адаптироваться к растущим потребностям бизнеса. Выходя за рамки простого обслуживания, архитектура «клиент-сервер» предлагает централизованное обновление, что гарантирует, что все клиенты всегда используют актуальные версии сервисов и функций.

В рассматриваемом проекте сервер выполняет централизованное хранение и управление данными, а клиенты зависят от сервера для доступа к данным, это является архитектурой «клиент-сервер». Блок-схема проекта представлена на рисунке 1.

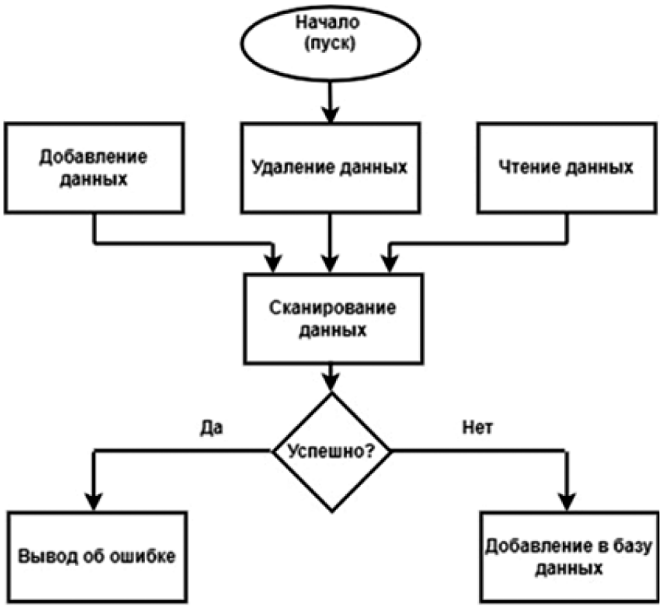


Рис. 1. Блок-схема проекта

Создание мобильного приложения в Android Studio

Android Studio — это официальная интегрированная среда разработки (IDE) для создания приложений на операционную систему Android. Разработанная компанией Google, она предоставляет разработчикам комплексный набор инструментов для проектирования, написания, тестирования и отладки мобильных приложений. Android Studio поддерживает языки программирования Java и Kotlin, и включает в себя такие функции, как визуальный редактор интерфейсов, который позволяет перетаскивать элементы для создания экранов приложения, а также мощную систему сборки на основе Gradle, которая даёт возможность настраивать процесс сборки приложения.

Как и любая IDE, Android Studio упрощает написание кода, она умеет автоматически искать и исправлять ошибки в программах и даже писать за вас код. Для последнего используется Studio Bot — встроенный искусственный интеллект (ИИ), с которым можно общаться на естественном языке. Когда код будет написан и протестирован, Android Studio приведёт его к формату, подходящему для публикации в Google Play, AppGallery, RuStore и других магазинах приложений для Android. Для создания проекта нужно выбрать Empty Activity, потому что в других Activity есть уже различные заготовки, которые не отвечают требованиям поставленной задачи [10–16].

Разработка структуры и дизайна мобильного приложения

Структура приложения разработана для удобной работы с товарами с помощью QR-кодов и включает в себя три основные функции: добавление товара, удаление товара и предоставление информации о товаре. Интерфейс пользователя должен быть максимально простым и интуитивно понятным, чтобы обеспечить легкость в использовании даже для тех, кто не имеет опыта работы с подобными приложениями. Интерфейс каждой из функций разработан таким образом, чтобы минимизировать количество шагов, необходимых для выполнения задачи, и исключить возможность путаницы или ошибки со стороны пользователя. На главном экране приложения расположены три кнопки, каждая из которых соответствует одной из функций:

1. Кнопка «Добавить товар». Эта кнопка запускает процесс сканирования QR-кода для добавления нового товара в базу данных. После сканирования кода открывается форма, где пользователь может ввести всю необходимую информацию о товаре. Все шаги сопровождаются подсказками, что делает процесс добавления товара понятным и легким.
2. Кнопка «Удалить товар». При выборе этой функции пользова-тель сканирует QR-код товара, который следует удалить. После идентификации товара система запрашивает подтверждение на удаление, чтобы исключить случайные ошибки. Процесс удаления товара интуитивно понятен и не требует дополнительных сложных действий.
3. Кнопка «Информация о товаре». Эта кнопка позволяет пользователю получить детальную информацию о товаре путем сканирования его QRкода. Информация отображается в четком и удобочитаемом формате, предоставляя все необходимые сведения о товаре, такие как название и остаток на складе.

Разработанное авторами консольное приложение обладает простым и интуитивно понятным интерфейсом, что позволит осуществлять загрузку и обработку информации из базы данных эффективнее. Функционал приложения обеспечивает быстрый онлайн доступ

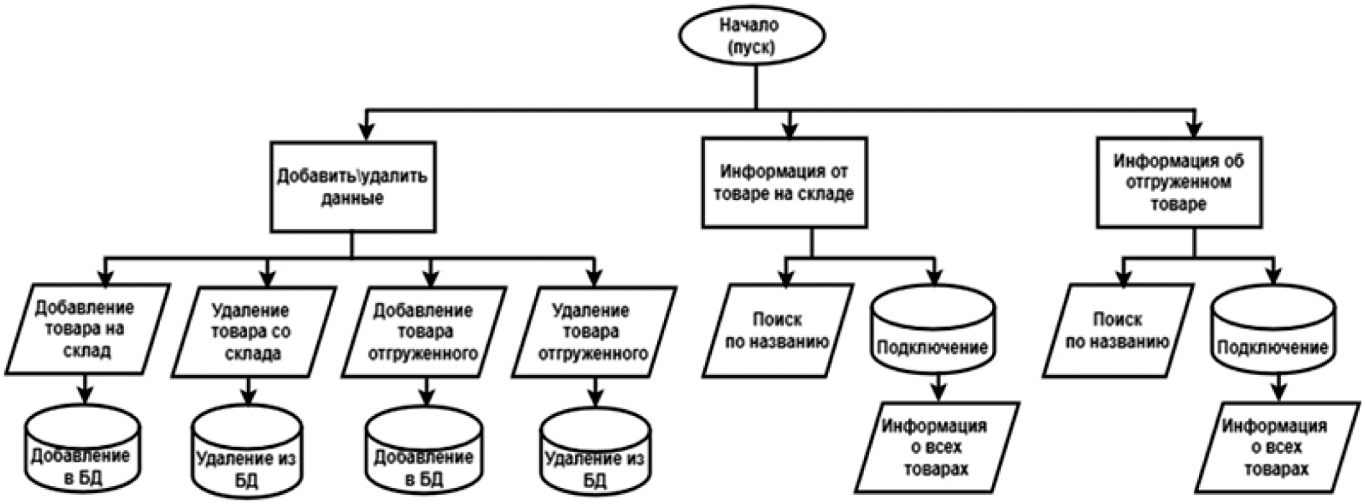


Рис. 2. Блок-схема консольного приложения

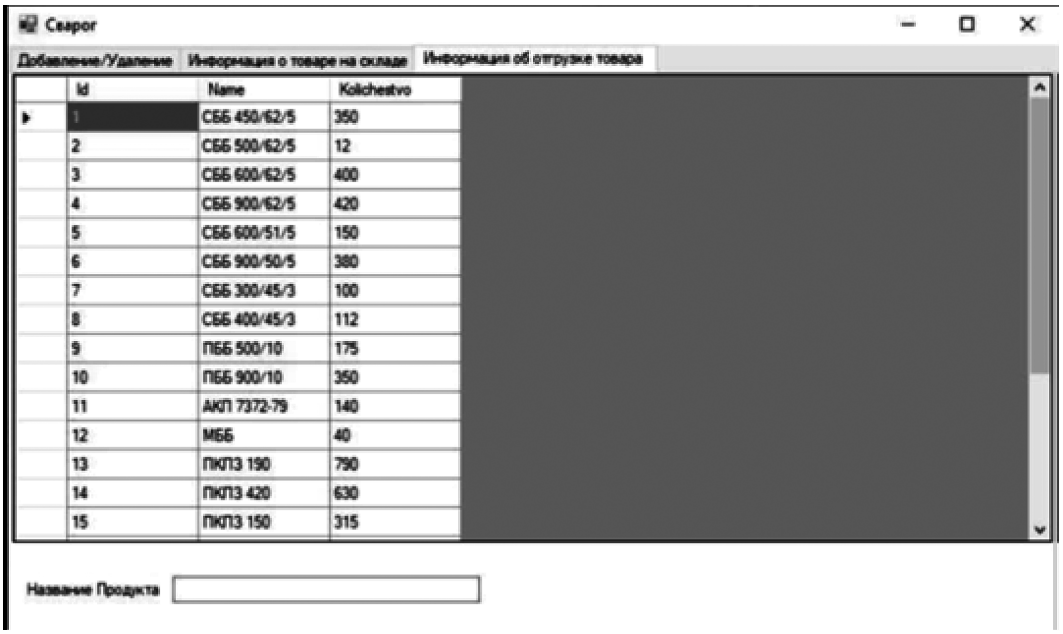
к данным о номенклатуре товара, что решает проблему оперативного контроля и управления складскими запасами. В дальнейшем информация из консольного приложения позволит анализировать историю отгрузок для оптимизации закупочной деятельности и стимулирования продаж.

Разработанная структура и дизайн приложения сформированы с учетом лучших практик проектирования пользовательского интерфейса, чтобы обеспечить работу с приложением, отвечая требованиям технического задания. Для генерации QR-кодов номенклатуры продукции разработана программа на языке программирования Python с использованием библиотеки qrcode (рисунок 6) [10–16]. Блок-схема консольного приложения представлена на рисунке 2. Страница консольного приложения представлена на рисунке 3.

На рисунке 4 и 5 представлена страница приложения об информации об отгрузки товара и информация о товаре на складе.

Код для генерации QR-кода написан с помощью языка програм-мирования Python и представлен на рисунке 6.

Рис. 3. Страница консольного приложения



Id	Name	Kolichestvo
1	СББ 450/62/5	350
2	СББ 500/62/5	12
3	СББ 600/62/5	400
4	СББ 900/62/5	420
5	СББ 600/51/5	150
6	СББ 900/50/5	380
7	СББ 300/45/3	100
8	СББ 400/45/3	112
9	ПББ 500/10	175
10	ПББ 900/10	350
11	АКП 7372-79	140
12	МББ	40
13	ПКПЗ 190	790
14	ПКПЗ 420	630
15	ПКПЗ 150	315

Рис. 4. Информация об отгрузке товара

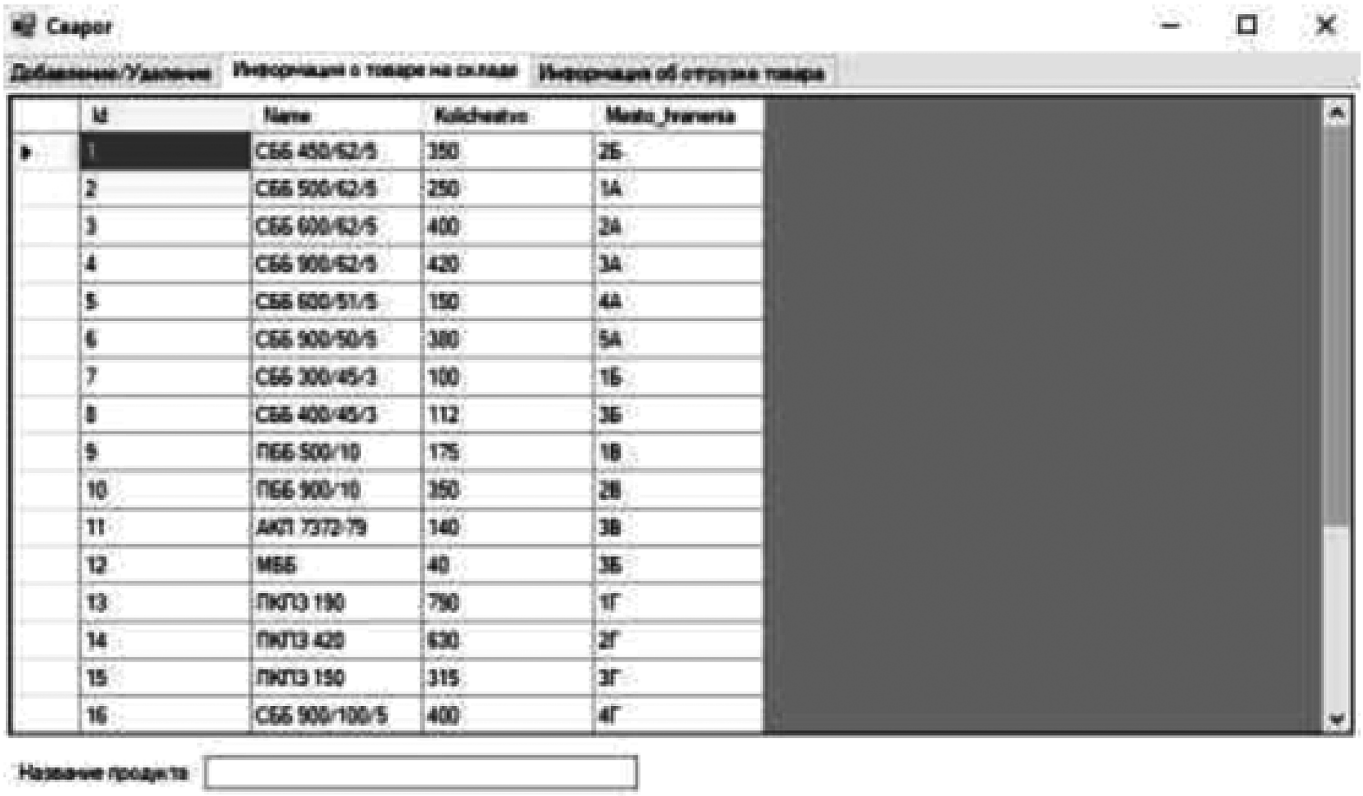


Рис. 5. Информация о товаре на складе

qr.py × qr_code.png

```python
import qrcode

# Создаем объект QRCode
qr = qrcode.QRCode(
    version=1,
    error_correction=qrcode.constants.ERROR_CORRECT_L,
    box_size=10,
    border=4,
)

# Добавляем данные в QR-код
qr.add_data('Пример текста или URL')
qr.make(fit=True)

# Создаем изображение QR-кода
img = qr.make_image(fill='black', back_color='white')

# Сохраняем изображение в файл
img.save('qr_code.png')
```

Рис. 6. Генерация QR-кодов номенклатуры продукции

Заключение

В результате проведённого исследования разработано мобильное приложение, предназначенное для сканирования QR-кодов товаров и их последующего внесения в базу данных. Создано консольное приложение, предоставляющего специалистам возможность осуществлять полный контроль над номенклатурой товаров на складе.

В результате авторами разработано программное решение, которое соответствует принципам бережливого производства и позволяет предприятиям экологично интегрироваться в индустрию 5.0, где взаимодействие человека и программного обеспечения выходит на новый уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вейдер Майкл. Инструменты бережливого производства II. Карманноеруководство по практике применения Lean. — М.: Альпина Паблишер, 2017. — 125 с.
2. Womack J.P., Jones D.T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation, Revised and Updated [2nd ed.] — Free Press. — 2003. — 398 p.
3. Савич Ю.А. Инструментарий стратегического управления конкурентоспособностью предприятия / Ю.А. Савич // Экономинфо. -2019. — Т. 16. — № 1. — С. 27–32.
4. Fang X., & Hc C. (2021). Using Vendor Management inventory system for goods inventory management in IoT manufacturing. Enterprise Information Systems, 16(7). https://doi.org/10.1080/17517575.2021.1885743
5. Colakovi´c A., Cauševi´c S., Kosovac A., & Muharemovi´c, E. (2020). A review of enabling technologies and solutions for iot based smart warehouse monitoring system. Lecture Notes in Networks and Systems, 128 LNNS, 630–637. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46817-0_73
6. Kumar D., Kr Singh R., Mishra R., & Fosso Wamba, S. (2022). Applications of the internet of things for optimizing warehousing and logistics operations: A systematic literature review and future research directions. In Computers & Industrial Engineering (Vol. 171, p. 108455). Elsevier BV. https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108455
7. R.A. Sabitov, G.S. Smirnova, Sh.R. Sabitov, B.M. Morozov, B.R. Sirazetdinov Adaptive control and operational management system of machine-tool fleet of the manufacturing enterprise IFAC-PapersOnLine, 48 (3) (2015), pp. 1236–1241
8. S. Zhang et al. A hybrid multi-objective approach for real-time flexible production scheduling and rescheduling under dynamic environment in Industry 4.0 context Comput. Oper. Res. (2021)
9. QR-код (быстрый отклик). [Электронный ресурс]. — URL:https://www.geeksforgeeks.org/how-to-build-a-qr-code-android-app-usingfirebase/ (дата обращения 15.02.2025).
10. Приложение на Kotlin под Android [Электронный ресурс]. — URL:https://habr.com/ru/articles/275255/ (дата обращения 25.04.2024). использование REST API [Электронный ресурс]. — URL:https://code.tutsplus.com/ru/android-from-scratch-using-rest-apis--cms-27117t (дата обращения 25.02.2025).
11. Создание простого консольного приложения C# в Visual Studio [Электронный ресурс]. — URL: https://learn.microsoft.com/ruru/visualstudio/get-started/csharp/tutorial-console?view=vs-2022 (дата обращения 20.02.2025).
12. C# консоль, подключение базы данных [Электронный ресурс]. — URL: https://ru.stackoverflow.com/questions/577859/c-консоль-подключениебазы-данных (дата обращения 13.02.2025).
13. Программы для складского учета в 2024 году [Электронный ресурс]. –URL: https://www.kp.ru/money/biznes/luchshie-programmy-dlya-skladskogoucheta/ (дата обращения 29.01.2025).
14. Методы управления запасами на складе [Электронный ресурс]. — URL:https://www.ekam.ru/blogs/pos/metody-upravleniya-zapasami-na-sklade (дата обращения 25.01.2025).
15. Создание QR-кодов на Python [Электронный ресурс]. — URL:https://proglib.io/p/generaciya-krasivyh-qr-kodov-s-pomoshchyu-python-2023-11-07 (дата обращения 13.02.2025).
16. SQL — ЯЗЫК РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ Учебное пособие [Электронный ресурс]. — URL: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/40612/1/978-5-7996-1622-9_2016.pdf (дата обращения 17.02.2025).

© Нуйя Ольга Святославовна (olga.nuyya@ya.ru); Сержантова Майя Вячеславовна (xyz43210@mail.ru);
Слабогорская Алиса Алексеевна (alisaslabogorskaya@yandex.ru); Крылов Дмитрий Максимович (dm.krylov666@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.31

ПРИМЕНЕНИЕ AR-ЭЛЕМЕНТА В ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЯХ ДЛЯ АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ ТЭС

APPLICATION OF AR-ELEMENT IN LINEAR MODELS TO ANALYZE CHARACTERISTICS OF THERMAL POWER PLANT ELEMENTS

S. Olimpiev
A. Neklyudov

Summary. Improving the accuracy of modeling the dynamic characteristics of TPP process equipment is an important scientific and technical task. The research is aimed at developing and comparing the classical linear regression model and the combined linear regression model with the addition of an autoregressive element to consider the time dependence of data and improve the accuracy of forecasting. *Methods*: The linear regression model is used as a basic method. To account for autocorrelation of the investigated characteristic of the TPP element, an autoregression element based on the use of the residual error of the linear regression model is introduced. *Results*: The study demonstrates a significant improvement in modeling accuracy after the introduction of the autoregressive element. *Conclusions of the study*: An approach based on the application of an autoregressive element in a linear regression model is proposed. The obtained results of the study can be applied in the works devoted to the energy field and specific studies of the problems of incorrect characteristics of TPP equipment.

Keywords: machine learning, regression analysis, AR-models, autoregression, equipment characteristics, thermal power plant.

Олимпиев Сергей Александрович
Аспирант, Национальный исследовательский университет, Московский Энергетический Институт
OlimpiyevSA@mpei.ru
Неклюдов Алексей Васильевич
Кандидат технических наук, доцент, Национальный исследовательский университет, Московский Энергетический Институт
NekliudovAIV@mpei.ru

Аннотация. *Цель*: Повышение точности моделирования динамических характеристик технологического оборудования ТЭС является важной научно-технической задачей. Исследование направлено на разработку и сравнения модели классической линейной регрессии и комбинированной модели линейной регрессии с добавлением элемента авторегрессии для учета временной зависимости данных и повышения точности прогнозирования. *Методы*: в качестве базового метода используется модель линейной регрессии. Для учета автокорреляции исследуемой характеристики элемента ТЭС вводится элемент авторегрессии, основанный на использовании остаточной ошибки модели линейной регрессии. *Результаты*: Исследование демонстрирует значительное повышение точности моделирования после введения элемента авторегрессии. *Выводы исследования*: Предложен подход, основанный на применении элемента авторегрессии в линейной регрессионной модели. Полученные результаты исследования могут быть применимы в работах, посвященных энергетической области, и конкретных исследований проблематики некорректных характеристик оборудования ТЭС.

Ключевые слова: машинное обучение, регрессионный анализ, AR-модели, авторегрессия, характеристики оборудования, тепловая электростанция.

Введение

Современные тепловые электростанции (ТЭС) представляют собой сложные энергетические комплексы, эффективность которых напрямую зависит от непрерывного процесса мониторинга параметров технологического оборудования. Проблема некорректных параметров оборудования ТЭС является сложной научно-технической задачей, которая обусловлена необходимостью постоянного отслеживания динамических изменений. Эти изменения вызваны широким спектром факторов, включающих переменные эксплуатационные нагрузки, неоптимальные режимы работы и износ оборудования [2].

Для решения подобных проблем используют традиционные подходы к моделированию элементов ТЭС, которые основаны на статистических моделях в совокупности с инженерными расчетами. Такие подходы, зачастую, демонстрируют низкую эффективность из-за ограничений при описании динамических характеристик [1, с. 108].

Одной из перспективных областей, позволяющее преодолевать ярко выраженные недостатки традиционных подходов, является область машинного обучения. Применение методов машинного обучения для актуализации параметров оборудования ТЭС обусловлена способностью обработки больших объемов данных, выявлению скрытых взаимосвязей и созданию моделей, обеспечивающих корректное отражение динамики сложных технологических процессов [7, с. 75].

Материалы и методы

Регрессионные модели являются фундаментальным инструментом в области машинного обучения для анализа взаимосвязей между характеристиками технологи-

ческого процесса и прогнозирования их будущих значений. Однако классические регрессионные модели, такие как, модели линейной регрессии не учитывают временную зависимость данных. Это ограничивает их точность при моделировании динамических систем [8, с. 164]. Для повышения точности прогнозирования целесообразно применение моделей, учитывающих автокорреляцию данных. В таких случаях эффективным подходом является применение подходов, учитывающих взаимосвязь между текущим состоянием системы и ее предыдущими значениями.

Одним из таких подходов является введение элемента авторегрессии (AR-элемента). AR-элемента основывается на принципе действия авторегрессионных моделей (AR-моделей). В общем виде AR-модели представляют собой класс статистических моделей, в которых текущее значение переменной выражается как линейная корреляция ее прошлых значений. В математическом виде AR-модель описывается выражением 1.

$$y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^{N} \beta_i y_{t-i} + \varepsilon = \\ = \beta_0 + \beta_1 y_{t-1} + \beta_2 y_{t-2} + \ldots + \beta_i y_{t-i} + \varepsilon \quad (1)$$

где y_i — зависимый параметр в момент времени t, β_i — коэффициент регрессии, β_0 — свободный член регрессии, ε — случайна ошибка, N — порядок, который определяет количество предыдущих значений.

AR-элемент может применяться в различных формах. В регрессионную модель может быть добавлено смещение исследуемой переменной. Смещение представляет собой значение переменной в предыдущий момент времени. Помимо этого, AR-элемент может быть использован в виде основы для построения полноценной AR-модели, а также для более сложных моделей, таких как ARMA — авторегрессионная модель скользящего среднего или ARIMA — авторегрессионная модель интегрированного скользящего среднего. Применение этих моделей позволяет с хорошей точностью описываться сложные временные корреляции.

Научные исследования области энергетического сектора с применением AR-моделей активно ведутся и в настоящее время. Проводятся исследования использования авторегрессионной модели для прогнозирования цен на Российском оптовом рынке электроэнергии [4]. В рамках такого исследования проводится построение авторегрессионной модели для итеративного прогнозирования цен на электроэнергию на рынке на сутки вперед. Для прогнозирования на шаг вперед используются исторические данные. Для прогнозирования на два шага вперед используется, полученный на предыдущей итерации, одношаговый прогноз в качестве входных данных вместе с историческими данными. Помимо этого, проводятся исследования применения модели авторегрессии для анализа потребления электроэнергии [5, с. 15]. В рамках такого исследования строится классическая ARIMA-модель для исследования прогнозирования электропотребления.

Исследование проводилось в течение 12 месяцев на базе теплоэлектростанции ТЭС-1 города Ростов. В исследовании использовались архивные данные системы мониторинга технологических параметров за период с 01.01.2022 по 31.12.2022. Данные включали почасовые значения ключевых рабочих характеристик энергоблока, включая расход острого пара D_0, электрическую мощность $N_э$, давление в конденсаторе Pk, температуру прямой сетевой воды $t_{пс}$ и температуру обратной сетевой воды $t_{ос}$. Общий объем выборки составил 8760 наблюдений. Данные были предварительно проверены на наличие выбросов и аномальных значений. Пропущенные значения были заполнены методом линейной интерполяции.

В исследовании применялся квазиэкспериментальный дизайн с формированием контрольной и экспериментальной групп. Контрольная группа (n=4380) включала данные за период с 01.01.2022 по 30.06.2022, экспериментальная группа (n=4380) — данные за период с 01.07.2022 по 31.12.2022. В качестве базовой модели использовалась модель линейной регрессии. Построение моделей проводилось в среде разработки Jupiter Notebook на языке программирования Python версии 3.9 с использованием библиотек Pandas и Numpy для обработки и анализа данных. Визуализация результатов осуществлялась с помощью библиотек Plotly и Matplotlib. Применялись методы машинного обучения с использованием библиотек Scipy и Sklearn.

Аналитическая часть исследования включала следующие этапы:

1. Построение базовой регрессионной модели для контрольной группы

Выполнялось построение линейной регрессии, где в качестве зависимой переменной выступал параметр расхода острого пара D_0, а в качестве независимых переменных — электрическая мощность $N_э$, давление в конденсаторе P_k, температура прямой сетевой воды $t_{пс}$ и температура обратной сетевой воды $t_{ос}$. Модель обучалась на данных контрольной группы методом минимизации среднеквадратичного отклонения. Проводилась оценка качества модели с использованием статистических метрик: стандартное отклонение, средняя абсолютная ошибка (MAE), средняя квадратичная ошибка (MSE), средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) и средняя процентная ошибка (MPE).

2. Введение AR-элемента в модель для экспериментальной группы

На основе базовой модели вводился AR-элемент в виде временного смещения остаточной ошибки модели линейной регрессии на 24 часа. Выбор интервала смещения был обусловлен суточным циклом колебаний нагрузки. С учетом AR-элемента производилось повторное обучение модели на данных экспериментальной группы. Выполнялась оценка качества модифицированной модели с использованием тех же статистических метрик. Проводился сравнительный анализ точности базовой и модифицированной моделей.

3. Исследование влияния AR-элемента на точность моделирования режимов работы турбины

Для обеих моделей выполнялось прогнозирование значений расхода острого пара D_0 на контрольной и экспериментальной выборках. Строились трехмерные диаграммы рассеяния фактических и прогнозных значений в пространстве параметров электрической мощности $N_э$, давления в конденсаторе P_k и температуры прямой сетевой воды $t_{пс}$. Проводился визуальный анализ характера распределения значений и выявление паттернов, соответствующих различным режимам работы турбины. Оценивалось влияние введения AR-элемента на разделимость кластеров данных, соответствующих режимам работы.

4. Анализ чувствительности модели к величине временного смещения AR-элемента

Проводилась серия экспериментов с варьированием величины временного смещения AR-элемента в диапазоне от 1 до 168 часов (7 суток). На каждой итерации производилось обучение модифицированной модели и оценка ее качества. Строились графики зависимости статистических метрик точности от величины смещения. Определялось оптимальное значение временного смещения, обеспечивающее максимальное повышение точности модели.

Результаты

В рамках данного исследования формируются классическая линейная модель для анализа характеристик элемента ТЭС. Элементом станции рассматривается теплофикационная турбинная установка. В качестве характеристики турбинной установки исследуется расход острого пара D_0. Модель строится в условиях смешанного режима отбора пара на подогрев сетевой воды, то есть одновременно учитываются характеристики одноступенчатого и двухступенчатого подогрева сетевой воды.

Построение моделей проводится в среде разработки Jupiter Notebook на языке программирования Python с использованием библиотек Pandas и Numpy для обработки и анализа данных, Plotly и Matplotlib для формирования графической поверхности, Scipy и Sklearn для применения методов машинного обучения.

Осуществляется построение регрессионной модели с использованием экземпляра класса LinearRegression. С помощью класса LinearRegression реализуется построение модели линейной регрессии, основанного на минимизации среднеквадратичного отклонения. Далее происходит обучение модели линейной регрессии на данных, полученных с реального технологического процесса. Результатом обучения является вектор коэффициентов и свободного члена линейной регрессии. Коэффициенты линейной регрессии характеризуют степень влияния каждого независимого параметра на исследуемый зависимый параметр. Свободный член регрессии характеризует смещение линии регрессии относительно оси ординат. После обучения модели выполняется прогнозирование значений исследуемого параметра расхода острого пара D_0 на основе набора данных с независимыми параметрами. Прогнозирование осуществляется умножением входных данных на вектор коэффициентов регрессии с последующим добавлением свободного члена регрессии. В результате прогнозирования определяется вектор предсказанных значений исследуемого параметра расхода острого пара D_0.

Вводятся статистические показатели точности модели, которые позволяют количественно оценить адекватность полученной модели. Вычисляются остаточные ошибки, как разница между фактическими и предсказанными значениями, на основе которых определяется стандартное отклонение. Помимо этого, рассчитываются средняя абсолютная ошибка (MAE), средняя квадратичная ошибка (MSE), средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) и средняя процентная ошибка (MSE). Совокупность введенных показателей точности позволит сделать выводы о пригодности модели линейной регрессии и оценить эффект применения элемента авторегрессии.

Статистические показатели регрессионной модели без учета элемента авторегрессии представлены в таблице 1.

На основе полученных результатов вводится AR-элемент. AR-элемент основывается на учете временной зависимости значений остаточной ошибки линейной модели расхода острого пара D0. В качестве предиктора используется смещение значений остаточной ошибки расхода острого пара D0 на предыдущие 24 часа. Это позволяет учитывать влияние предыдущих отклонений, взятых за каждый час в течение 24 часов. С учетом добавления AR-элемента повторно строится регрессионная модель.

Статистические показатели и процент улучшения регрессионной модели с учетом AR-элемента представлены в таблице 2.

Таблица 1.

Статистические показатели модели

Показатель	Значение
Стандартное отклонение	4,976129442562969
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	3,741685396157355
Средняя квадратичная ошибка (MSE)	24,732280161962652
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	1,1258309054861575
Средняя процентная ошибка (MPE)	–0,018121886598052687

Таблица 2.

Показатель	Значение	Улучшение модели (%)
Стандартное отклонение	3,9790764802449643	20,04
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	3,0945160955209343	17,30
Средняя квадратичная ошибка (MSE)	15,812078708968953	36,07
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	0,961538350323011	14,56
Средняя процентная ошибка (MPE)	–0,013331995232609034	27,78

Дополнительно строится интерактивная трехмерная диаграмма режимов работы рассматриваемой теплофикационной турбины для выявления характера распределения значений исследуемого параметра расхода острого пара D_0 после введения элемента авторегрессии. Диаграмма рассеивания представлена на рисунке 1.

В результате введение AR-элемента привело к улучшению точности модели. Наблюдается заметное снижение стандартного отклонения на 20,04 %, что свидетельствует о том, что разброс ошибок модели вокруг среднего значения уменьшился со значения 4,98 до 3,98 т/ч. Средняя абсолютная ошибка (MAE) уменьшилась на 17,30 % и составила 3,09 т/ч. Модель с учетом элемента авторегрессии предсказывает значения расхода острого пара D_0 ближе к фактическим значениям в среднем. Наиболее значительное улучшение наблюдается у средней квадратичной ошибки (MSE). Она снизилась на 36,07 %. Это подчеркивает значительное сокращение больших ошибок, так как при расчете показателя MSE, ошибки возводятся в квадрат. В целом, это означает более точную оценку расхода острого пара D_0, особенно в случаях, где первоначальная модель допускала значительные отклонения. Снижение средней абсолютной процентной ошибки (MAPE) на 14,56 % показывает, что модель прогнозирует расход острого пара D_0 достаточно близко к фактическим значениям. Средняя процентная ошибка (MPE) уменьшилась на 27,78 %, но стоит отметить, что это изменение относительно небольшое. В первоначальной модели показатель MPE был также близок к нулю. Это значит, что модель имеет тенденцию как завышать, так и занижать значения. Но в среднем погрешность очень мала.

Исследование проводилось в рамках смешанного режима работы теплофикационной турбины, где учитывались характеристики одноступенчатого и двухступен-

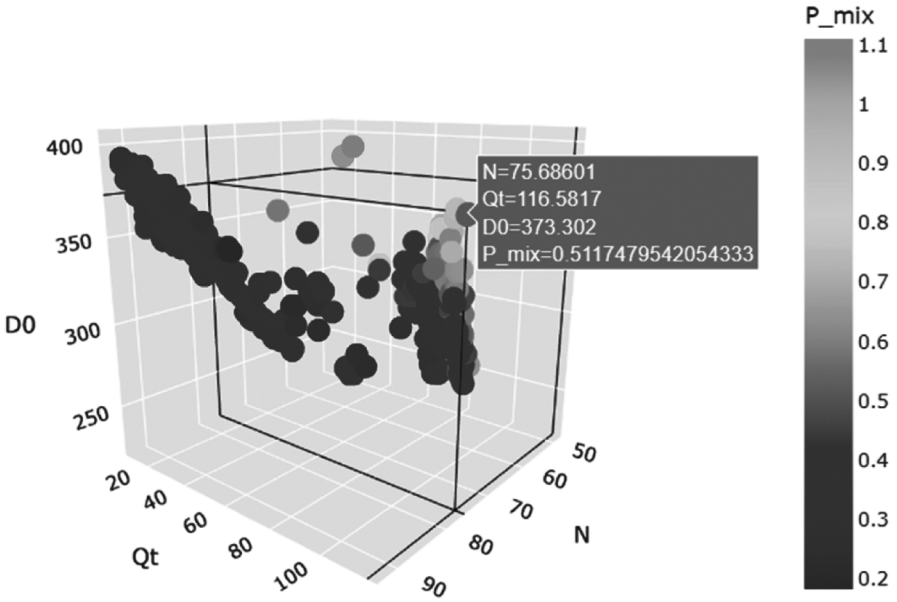


Рис. 1. Трехмерная диаграмма режимов работы турбины

чатого режимов подогрева сетевой воды. По диаграмме режимов работы турбины явно наблюдаются разделение на два кластера данных. Это соответствует одноступенчатому и двухступенчатому режимам подогрева сетевой воды. Данные явно не попадающие ни в один кластер, характеризуются переходным режимом работы турбины.

Базовая модель линейной регрессии, построенная на данных контрольной группы, продемонстрировала удовлетворительное качество моделирования расхода острого пара. Значения статистических метрик точности составили:

Таблица 3.

Статистические показатели базовой модели

Показатель	Значение
Стандартное отклонение	5,213
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	3,947
Средняя квадратичная ошибка (MSE)	27,174
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	1,236
Средняя процентная ошибка (MPE)	–0,026

Введение AR-элемента с временным смещением 24 часа привело к значительному повышению точности модели на экспериментальной группе. Значения статистических метрик модифицированной модели и процент их улучшения относительно базовой модели представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Статистические показатели модифицированной модели

Показатель	Значение	Улучшение (%)
Стандартное отклонение	3,685	29,35
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	2,874	27,19
Средняя квадратичная ошибка (MSE)	13,581	50,02
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	0,896	27,51
Средняя процентная ошибка (MPE)	–0,011	57,69

Наибольший эффект от введения AR-элемента наблюдается для показателя средней квадратичной ошибки (MSE), значение которого снизилось на 50,02 %. Это свидетельствует о существенном уменьшении величины больших ошибок прогнозирования, поскольку при расчете MSE ошибки возводятся в квадрат. Стандартное отклонение ошибки снизилось на 29,35 %, что указывает на повышение стабильности прогнозов модифицированной модели. Средняя абсолютная ошибка (MAE) уменьшилась на 27,19 %, демонстрируя общее повышение точности прогнозирования. Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) снизилась на 27,51 %, что говорит о более точном прогнозировании относительных изменений расхода острого пара. Средняя процентная ошибка (MPE) уменьшилась на 57,69 %, приблизившись к нулевому значению, что свидетельствует о несмещенности прогнозов модифицированной модели. Визуальный анализ трехмерных диаграмм рассеяния фактических и прогнозных значений расхода острого пара D_0 показал, что введение AR-элемента привело к более четкому разделению кластеров данных, соответствующих различным режимам работы турбины. Точки, соответствующие переходным режимам между одноступенчатым и двухступенчатым подогревом сетевой воды, образуют отдельную группу, которая характеризуется повышенным расходом острого пара относительно электрической мощности. Модифицированная модель продемонстрировала более точное воспроизведение этой особенности по сравнению с базовой моделью. Анализ чувствительности модели к величине временного смещения AR-элемента показал, что оптимальным является смещение на 24 часа. Дальнейшее увеличение интервала смещения приводит к постепенному снижению точности модели. Это объясняется тем, что суточные колебания нагрузки имеют наибольшее влияние на динамику расхода острого пара, в то время как колебания с большим периодом в меньшей степени коррелируют с исследуемым параметром.

Таблица 5.

Оптимальные значения временного смещения AR-элемента

Показатель	Оптимальное смещение, ч
Стандартное отклонение	24
Средняя абсолютная ошибка (MAE)	24
Средняя квадратичная ошибка (MSE)	24
Средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE)	24
Средняя процентная ошибка (MPE)	24

Максимальное повышение точности по всем статистическим метрикам достигается при временном смещении 24 часа (Таблица 5). Этот результат подтверждает гипотезу о наличии существенной автокорреляции в данных расхода острого пара с суточным лагом. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что введение AR-элемента в модель линейной регрессии приводит к значительному повышению точности моделирования расхода острого пара теплофикационной турбины. При этом оптимальная величина временного смещения AR-элемента составляет 24 часа, что соответствует суточному циклу изменения тепловой нагрузки. Повышение точности моделирования имеет практическое значение для оптимизации режимов работы ТЭЦ.

Модифицированная модель с AR-элементом может быть использована для прогнозирования значений расхода острого пара на краткосрочную перспективу (до 7 суток), что позволит оптимизировать работу оборудования и повысить эффективность станции в целом. Результаты исследования показали, что максимальный эффект от введения AR-элемента достигается для режима двухступенчатого подогрева сетевой воды. Это объясняется более высокой динамичностью данного режима по сравнению с одноступенчатым подогревом, что приводит к повышенной автокорреляции данных. Таким образом, модифицированная модель имеет наибольшую ценность для моделирования режимов работы турбины в отопительный период, когда преобладает двухступенчатый подогрев сетевой воды. В целом, результаты исследования демонстрируют высокий потенциал методов машинного обучения для повышения эффективности работы ТЭЦ. Введение элементов авторегрессии в классические регрессионные модели позволяет учитывать временные зависимости в данных и получать более точные прогнозы технологических параметров. Этот подход может быть распространен на другие параметры и элементы ТЭЦ, что открывает широкие перспективы для оптимизации работы станций на основе анализа данных.

В данной работе было рассмотрено применение AR-элемента при исследовании характеристик элемента ТЭС. В качестве AR-элемента было выполнено смещение значений остаточной ошибки линейной модели расхода острого пара на 24 часа. Это привело к заметному улучшению точности модели, в частности, уменьшило ошибку прогнозирования расхода острого пара, что сделало регрессионную модель более надежной. Потенциал для дальнейшего улучшения модели может заключаться в увеличении временного смещения на больший интервал для корректировки временной зависимости исследуемого параметра. Также возможно применение более сложных моделей временных рядов или путем учета других факторов, влияющих на расход острого пара.

Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало эффективность применения AR-элемента в линейных моделях для повышения точности моделирования расхода острого пара теплофикационной турбины. Введение элемента авторегрессии позволило учесть временные зависимости в данных и получить более точные прогнозы технологического параметра. В ходе исследования была построена базовая модель линейной регрессии на данных контрольной группы, которая показала удовлетворительное качество моделирования расхода острого пара. Значения статистических метрик точности базовой модели составили: стандартное отклонение — 5,213, средняя абсолютная ошибка (MAE) — 3,947, средняя квадратичная ошибка (MSE) — 27,174, средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) — 1,236, средняя процентная ошибка (MPE) — –0,026 (Таблица 3).

Введение AR-элемента с временным смещением 24 часа в модель для экспериментальной группы привело к значительному повышению точности моделирования. Наблюдалось снижение стандартного отклонения на 29,35 %, средней абсолютной ошибки на 27,19 %, средней квадратичной ошибки на 50,02 %, средней абсолютной процентной ошибки на 27,51 % и средней процентной ошибки на 57,69 % (Таблица 4). Такое существенное улучшение показателей точности свидетельствует о высокой эффективности применения AR-элемента для учета временных зависимостей в данных расхода острого пара. Визуальный анализ трехмерных диаграмм рассеяния фактических и прогнозных значений показал, что введение AR-элемента позволило более четко разделить кластеры данных, соответствующие различным режимам работы турбины (одноступенчатому и двухступенчатому подогреву сетевой воды). Кроме того, наблюдалось снижение дисперсии точек внутри кластеров, что указывает на повышение стабильности моделирования стационарных режимов.

Полученные результаты имеют практическое значение для оптимизации режимов работы ТЭЦ. Модифицированная модель с AR-элементом может быть использована для прогнозирования значений расхода острого пара на краткосрочную перспективу (до 7 суток), что позволит оптимизировать работу оборудования и повысить эффективность станции в целом. Наибольший эффект от применения модели достигается для режима двухступенчатого подогрева сетевой воды, который характеризуется более высокой динамичностью и повышенной автокорреляцией данных. Исследование демонстрирует высокий потенциал методов машинного обучения для повышения эффективности работы ТЭЦ. Введение элементов авторегрессии в классические регрессионные модели позволяет учитывать временные зависимости в данных и получать более точные прогнозы технологических параметров. Этот подход может быть распространен на другие параметры и элементы ТЭЦ, открывая широкие перспективы для оптимизации работы станций на основе анализа данных.

Дальнейшие направления исследований могут включать:

1. Исследование эффективности применения более сложных моделей авторегрессии (ARMA, ARIMA) для моделирования расхода острого пара и других технологических параметров ТЭЦ.
2. Анализ влияния других факторов (метеорологических условий, состава топлива, состояния оборудования) на точность моделирования и возможность их учета в моделях.

3. Разработку методов оптимизации режимов работы ТЭЦ на основе прогнозных значений технологических параметров, полученных с помощью моделей с элементами авторегрессии.
4. Исследование возможности применения предложенного подхода для моделирования и оптимизации работы других типов электростанций (атомных, гидравлических, возобновляемых источников энергии).
5. Экономическую оценку эффекта от внедрения методов машинного обучения в системы управления ТЭЦ, включая анализ затрат на внедрение и эксплуатацию, а также потенциальной экономии топлива и повышения надежности работы станций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андрюшин А.В. Решение задачи оптимизации режимов работы комбинированных теплоэнергетических систем в зависимости от выбранного метода / А.В. Андрюшин, Э.К. Аракелян, А.В. Неклюдов, Н.С. Долбикова, Ю.Ю. Ягупова // Киберфизические системы: моделирование и промышленное применение. 2022. С. 107–115.
2. Аракелян Э.К. Методические основы оптимального распределения нагрузки на тепловой электростанции со сложным составом оборудования с учетом требований рынка / Э.К. Аракелян, А.В. Андрюшин, А.В. Неклюдов, Ю.Ю. Ягупова, С.В. Мезин // Журнал «Физика»: Серия конференций. 2021.
3. Ворожцова Т.Н. Применение технологий виртуальной реальности и смежных информационных систем в междисциплинарных задачах FIT-M 2020 // Сборник тезисов международной научной конференции, Москва, 17–19 декабря 2020 года. — Москва: Издательство «Знание-М», 2020. — С. 163–169.
4. Горшукова Р.В. Использование авторегрессионной модели нейронной сети и модели пророк для прогнозирования цен на российском оптовом рынке электроэнергии // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками. 2022. С. 55–58.
5. Икромжон У.Р. Прогнозирование электропотребления промышленных предприятий с помощью модели авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего / У.Р. Икромжон, Н.Н. Курбонов // Вестник МЭИ. Энергетические системы и комплексы. 2021. С. 11–19.
6. Канищев И.С. Восстановление пропущенных значений в задачах классификации при несбалансированности данных // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2021. №05. С. 63–66.
7. Корченко М.Д. Способы применения нейросетей в энергетике // Вестник науки. 2024. №6. С. 75.
8. Массель Л.В. Использование научной ИТ-инфраструктуры исследований энергетики для построения цифровых теней и цифровых двойников объектов,и систем энергетики / Л.В. Массель, А.Г. Массель, Т.Н. Ворожцова // Применение технологий виртуальной реальности и смежных информационных систем в междисциплинарных задачах FIT-M 2020 : Сборник тезисов международной научной конференции, Москва, 17–19 декабря 2020 года. — Москва: Издательство «Знание-М», 2020. — С. 163–169.
9. Пискунова В.М. Анализ эффективности применения нелинейных моделей тепловых электростанций при исследовании надежности энергоснабжения потребителей / В.М. Пискунова, Д.С. Крупнев, // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2023. — № 3 (31). С. 86–93.
10. Филиппченкова Н.С. Оценка использования нелинейных авторегрессионных нейросетевых моделей для прогнозирования технико-экономических показателей солнечных энергоустановок // Агротехника и энергообеспечение. 2021. №4. С. 33.

© Олимпиев Сергей Александрович (OlimpiyevSA@mpei.ru); Неклюдов Алексей Васильевич (NekliudovAlV@mpei.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.34

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ДЛЯ КОНЦЕПЦИИ BYOD

INFORMATION SECURITY FOR THE BYOD CONCEPT

V. Prokhorov
D. Maznin

Summary. This article addresses the issue of cyber security in organizations that allow employees to use personal devices to perform work tasks. The very use of personal devices by employees is driven by the desire of organizations to significantly reduce financial costs for creating new and maintaining existing automated workplaces. However, this desire of organizations raises the question of trust in employees and trust in their personal devices. Therefore, the result of this article is the considered ways of ensuring cyber security in organizations using personal devices of employees. So, this article will consider a way to collect information about the activities of an employee and his device on the organization's network, a way to ensure controlled access of an employee (device) to the organization's network, and a way to manage an employee's personal device. Special attention is paid to the concept of «zero trust», in which the cyber security system should be based on its worst-case assumptions. The use of such a concept is due to the constant distrust of the security of the employee's personal device and himself. To provide such results, the method of analyzing and studying scientific and technical literature, as well as the method of critical evaluation of the methods presented in the article, was used.

Keywords: cyber security, zero trust, BYOD.

Прохоров Виталий Андреевич
Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова
UnknowParrot@yandex.ru
Мазнин Дмитрий Николаевич
Доцент, начальник отдела,
Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова
maznin@inbox.ru

Аннотация. Данная статья затрагивает проблему обеспечения информационной безопасности в организациях, разрешающих применение личных устройств сотрудников для выполнения рабочих задач. Само применение личных устройств сотрудников обусловлено желанием организаций существенно снизить финансовые расходы на создание новых и поддержание существующих автоматизированных рабочих мест. Однако такое желание организаций порождает вопрос об доверии к сотрудникам и об доверии к их личным устройствам. Поэтому основным результатом данной статьи являются рассмотренные способы обеспечения информационной безопасности в организациях, применяющих личные устройства сотрудников. Так, в данной статье будет рассмотрен способ сбора информации о деятельности сотрудника и его устройства в сети организации, способ осуществления контролируемого доступа сотрудника (устройства) в сеть организации и способ управления личным устройством сотрудника. Особое внимание при таком рассмотрение уделяется концепции «нулевого доверия», при которой система информационной безопасности должна строиться из расчета своих худших предположений. Использование такой концепции обусловлено постоянному недоверию к безопасности личного устройства сотрудника и его самого. Для предоставления таких результатов использовался метод анализа и изучения научной и технической литературы, а также метод критической оценки представленных в статье способов.

Ключевые слова: информационная безопасность, нулевое доверие, BYOD.

Введение

В настоящее время во многих организациях набирает популярность использование концепции «принеси свое личное устройство» (bring your own device — BYOD). Данная концепция предлагает сотрудникам организаций использовать свои личные устройства: смартфоны, планшеты, нетбуки, ноутбуки и многие другие устройства — для выполнения рабочих задач.

Использование личных устройств сотрудников позволяет организациям существенно сократить расходы на покупку современного оборудования и соответствующего оборудованию лицензируемого программного обеспечения. Кроме того, личные устройства сотрудников зачастую оказываются мощнее купленных организацией устройств и оказываются для сотрудников более удобными и привычными для использования в рабочих целях.

Основным препятствующим фактором роста популярности концепции BYOD может послужить множество рисков, связанных с информационной безопасностью организации [1]. Данный фактор особенно выделяется при использовании концепции «нулевого доверия» (zero trust), когда злоумышленником может являться сам владелец личного устройства, то есть сам сотрудник организации [2, 3].

Поэтому основной целью данной работы является изучение и анализ существующих решений по обеспечению информационной безопасности в организациях, которые могут быть применены с концепцией BYOD. В качестве дополнительной цели для данной работы яв-

ляется определение оптимального решения среди проанализированных.

Литературный обзор

Теоретической основой данного исследования послужили недавние работы Терещенко Г.В., Новиковой Ю.А., Попова Д.А., Вартаняна А.А., и многих других авторов прямо или косвенно затрагивающие проблемы информационной безопасности в концепции BYOD [1, 4, 5].

Ключевую особенность в данную работу вносит рассмотрение существующих способов обеспечения информационной безопасности для концепции BYOD с различных сторон. Так, дополнительно были рассмотрены работы Кравец А.Г., Цыбенко О.С. и многих других авторов, посвящённые сетевой безопасности, а также работы Кошиев К.Х., Боготов И.М., Агаджанян Э.Ю. и многих других авторов посещенные концепции «нулевого доверия» [2, 3, 6, 7, 8, 9, 10].

Материалы и методы

Для проведения анализа существующих решений по обеспечению информационной безопасности в рамках концепции BYOD использовались следующие методы:

- Метод анализа и изучения научной и технической литературы, посвящённой вопросам обеспечения информационной безопасности в организациях. В рамках данного метода были определены основные решения обеспечения информационной безопасности для концепции BYOD.
- Метод критического анализа существующих решений обеспечения информационной безопасности в рамках концепции BYOD. Дополнительно к данному методу была произведена оценка применимости найденных решений в рамках концепции «Нулевого доверия».

Для определения оптимального решения использовался метод оценки представленных решений по сложности их внедрения в организации, а также по возможному охвату их применения в различных организациях.

Результаты

Перед определением результатов анализа существующих решений обеспечения информационной безопасности в рамках концепции BYOD стоит определить основные принципы концепции «нулевого доверия»:

- Субъекты в информационной системе организации должны иметь безопасный и подтвержденный контролируемый доступ ко всем информационным ресурсам.
- Субъекты в информационной системе организации должны иметь наименьшее количество привилегий к объектам информационной системы организации.
- Действия субъектов в информационной системе организации должны отслеживаться и анализироваться.

Учитывая данную информацию первой группой решений, являются системы мониторинга за информацией, генерируемой личными устройствами сотрудников [5, 7]. Данные системы в рамках концепции «нулевого доверия» отслеживают и анализируют действия сотрудников в информационной системе организации.

В рамках концепции BYOD системы мониторинга можно разделить на несколько больших групп:

- Системы мониторинга, требующие прямого содействия владельца личного устройства. Так, для работы данных систем необходимо, чтобы личные устройства сотрудника генерировали и предоставляли определенные данные на соответствующий удалённый сервер внутри организации.

Ярким примером такой системы может послужить технология централизованного сбора логов, когда сотруднику необходимо вручную настроить отправку логов со своей операционной системы на удаленный сервер.

- Системы мониторинга, не требующие содействия владельца личного устройства. Так, для работы данных систем необходимо осуществлять сбор всего сетевого трафика, циркулирующего между различными сетевыми устройствами в информационной системе организации.

Главным плюсом первого подхода является возможность получения любого вида информации с личного устройства сотрудника, однако такие системы в чистом виде нигде не используются из-за невозможности быстрого реагирования за фактом прекращения выдачи информации с личного устройства сотрудника.

Главным плюсом второго подхода является возможность для организации постоянного сбора информации о сетевой активности сотрудников в организации, однако такие системы не предоставляют данные хранящиеся и использующиеся только внутри личного устройства.

Иной группой решений являются системы контроля сетевого доступа сотрудников. В рамках концепции «нулевого доверия» данные системы осуществляют контролируемый доступ ко всем информационным ресурсам организации путем выдачи определенных сетевых доступов согласно заранее прописанным сотрудникам привилегиям.

Ярким примером системы контроля сетевого доступа является группа технических решений, основанных на стандарте «IEEE 802.1X». Так, в случае использования данного стандарта пользователь сначала проходит

аутентификацию, авторизацию или идентификацию и только потом получает соответствующий ему сетевой доступ в сети [9].

Главным плюсом контроля сетевого доступа является возможность организации постоянной проверки соответствия сотрудников, а также возможность интеграции с иными информационными системами. Главным минусом данной технологии является довольно ограниченный базовый функционал у большинства имеющихся систем.

Третьей группой решений являются системы универсального управления конечными устройствами и их возможные отдельные составляющие в виде систем управления мобильностью предприятия, систем управления мобильными приложениями и систем управления мобильными устройствами [10]. Данные системы в концепции «нулевого доверия» осуществляют контролируемый доступ сотрудников к информационным ресурсам организации путем полного контроля его конечного устройства.

Главным преимуществом таких решений является полный контроль действий сотрудника, возможность навязывания политик организации и программных средств по защите информации без согласия сотрудника, а также возможность удаления конфиденциальной информации в случае утери личных устройств. Однако такое решение характеризуется сложностью внедрения и возможным сопротивлением сотрудников из-за факта постоянного управления и слежения за его личным устройством.

Обсуждение

Оптимальным решением среди проанализированных по охвату применения и довольно низкой сложности внедрения в любые организации являются системы контроля сетевого доступа. Так, в современном мире большинство организаций уже имеют беспроводное подключение в интернет через определенные системы управления доступом. Зачастую такие системы работаю на протоколе RADIUS требующих лишь базовых сетевых знаний для настройки.

В дополнение к этому внедрение такого решения не требует значительного изменения сетевой инфраструктуры, а предоставляемые возможности настройке дают возможность легкой интеграции с другими системами. Например, зачастую такие системы дают возможность добавление пользовательских программных модулей, что с включенной функцией предоставления гостевого доступа в изолированный сегмент информационной системы дает безграничные возможности по интеграции с другими системами.

Например, подобные системы можно интегрировать с системами мониторинга за информацией, где первые будут постоянно подтверждать факт работы последних на личных устройствах сотрудников, тем самым убирая основные проблемы последних в концепции BYOD.

Заключение

В рамках данной работы были проанализированные различные решения по обеспечению информационной безопасности в организациях, которые могут быть применены с концепцией BYOD. Также в ходе работы было определено оптимальное решение среди проанализированных.

В заключении также стоит добавить, что внедрение любого решения, связанного с информационной безопасностью организации, должно добавляться соответствующими политиками по безопасности в организации, иначе выгода внедрения любых решений стремится к нулю.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терещенко Г.В., Новикова Ю.А., Попов Д.А. Преимущества и недостатки использования личных мобильных устройств в финансовых организациях // Инженерный вестник Дона. — 2023. — №3(99). — С. 14–29.
2. Сааков В.В., Кошиев К.Х., Боготов И.М., Агаджанян Э.Ю. Концепция Zero Trust или что такое принцип нулевого доверия // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее: сборник статей XXXIX Международной научно-практической конференции. — Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2022. — С. 52–54.
3. Кирильчук С.П., Аблитаров Э.Р. Архитектура нулевого доверия как инновационный инструмент в системе обеспечения защиты корпоративной информации // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Экономика и управление. — 2024. — №3. — С. 45–57.
4. Вартанян А.А. Угрозы и атаки сетевой безопасности // E-Scio. — 2023. — №4(79). — С. 15–20.
5. Цымбал Ф.А. Управление инцидентами безопасности и событиями (SIEM) // Столыпинский вестник. — 2022. — №4
6. Кравец А.Г., Сальникова Н.А. Метод назначения прав доступа к приложениям в корпоративной мобильной сети // Вестник АГТУ. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2023. — №1. — С. 71–82.
7. Цыбенко О.С. Технологии и решения сетевой безопасности // E-Scio. — 2023. — №4(79). — С. 100–105.
8. Хусаинова М.К. Сетевая безопасность и мониторинг // ReFocus. — 2022. — № 4. — С. 177–183.
9. Савич-Шемет О.Г. Использование IEEE 802.1x в корпоративных сетях при внедрении тенденции BYOD // Современные средства связи. — 2020. — №1. — С. 233–235.
10. Корнеенков А.В., Коккоз М.М., Смагулова А.К. Повышение безопасности систем удаленного администрирования: защита информации // Universum: технические науки. — 2022. — №5–2(98). — С. 28–32.

© Прохоров Виталий Андреевич (UnknowParrot@yandex.ru); Мазнин Дмитрий Николаевич (maznin@inbox.ru)

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.37

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДАННЫХ ЦИФРОВОГО СЛЕДА ПРОЕКТОВ

DEVELOPMENT OF A DATA MODEL FOR THE DIGITAL FOOTPRINT OF PROJECTS

M. Stepanov

Summary. Cluster analysis (CA) can be used in the process of studying Digital Traces (DT) of students of an educational institution, as well as other educational institutions that implement the Digital Educational Environment (DEE) in the educational process. The use of CA methods will improve the personalization of training and increase the effectiveness of educational programs. In the context of ensuring Information Security (IS) of the DEE of educational institutions, the technologies and methods of CA analysis can be useful, for example, for: monitoring students' network activity; analyzing student authorization and authentication logs; detecting malware and attacks on the DEE; analyzing information security threats to the DEE as a whole; predicting vulnerabilities. The paper presents the results of experimental studies of the level of competence of students of different specialties at the university in information security and protection of information assets of the DEE. CA methods were used in the process of studying the DT of students. Based on the DT of different groups of students registered in the university's DEE, six types of users were identified. As a result of applying the CA methods, the students registered in the university's DEE were divided into corresponding clusters according to the criteria affecting the information security risks.

Keywords: digital traces, cluster analysis, digital educational environment of the educational institution, information secure.

Степанов Михаил Александрович
аспирант, Томский политехнический университет
levacat77@gmail.com

Аннотация. Кластерный анализ (КА) может использоваться в процессе исследования Цифровых Следов (ЦС) студентов учебного заведения, а также других учебных заведений, которые внедряют в учебный процесс Цифровую Образовательную Среду (ЦОС). Применение методов КА позволит улучшить персонализацию обучения и повысить эффективность образовательных программ. В контексте обеспечения Информационной Безопасности (ИБ) ЦОС учебных заведений технологии и методы анализа ЦС могут быть полезны, например, для: мониторинга сетевой активности студентов; анализа журналов авторизации и аутентификации студентов; выявления вредоносных программ и атак на ЦОС; анализа угроз ИБ ЦОС в целом; прогнозирования уязвимостей. В работе представлены результаты экспериментальных исследований уровня компетентностей студентов разных специальностей в университете по ИБ и защите информационных активов ЦОС. Были использованы способы КА в процессе исследования ЦС студентов. На основе КА ЦС разных групп студентов, зарегистрированных в ЦОС университета, было выделено шесть типов пользователей. В результате применения методов КА студенты, зарегистрированные в ЦОС университета, были разбиты на соответствующие кластеры по критериям, влияющим на риски ИБ.

Ключевые слова: цифровые следы, кластерный анализ, цифровая образовательная среда учебного заведения, информационная сохранность.

Введение

В последнее время большинство учебных заведений во всем мире, особенно на фоне стремительного распространения пандемии Covid-19, кроме традиционных форм обучения, предлагают студентам различные формы онлайн обучения. Такой формат обучения, например, реализуют через Системы Дистанционного Обучения (СДО) или онлайн курсы по определенным дисциплинам. Однако для эффективного функционирования подобных онлайн курсов и СДО в целом, необходима соответствующая цифровая среда или Информационная Система (ИС), которая будет выполнять функции управления и организации учебного процесса. В большинстве случаев подобные задачи решаются с помощью систем управления обучением, а именно LMS, предлагающих множество функций для поддержки преподавателей в процессе создания, администрирования и управления онлайн курсами.

Однако такие системы в большинстве случаев имеют достаточно ограниченный арсенал модулей для анализа накапливаемых данных в ходе организации учебного процесса [1], [2]. В частности, в таких системах недостаточно реализован потенциал для анализа о Цифровых Следах (ЦС) студентов во время обучения [3–5]. Подобные LMS системы практически не используют накопленные данные по ЦС студентов для повышения степени защищенности и информационной безопасности университета от внешних вмешательств.

Заметим, что и в контексте обеспечения Информационной Безопасности (ИБ) ЦОС учебного заведения технологии и методы Интеллектуального Анализа Данных (ИАД) и ЦС также могут быть полезны, например, для: мониторинга сетевой активности студентов и преподавателей; анализа журналов авторизации и аутентификации студентов и преподавателей; выявления вредоносных программ и атак на ЦОС учебного заведения;

анализа угроз ИБ ЦОС учебного заведения в целом; прогнозирования уязвимостей.

Таким образом, все вышеописанное и определяет актуальность данного исследования, а также мотивирует нас к продолжению работы в данном направлении.

Анализ последних исследований и публикаций. В [4] авторами показано, что исследование процессов обучения может выиграть от изучения ЦС, оставленных студентами, в частности, при просмотре учебного контента образовательных платформ. В [5] авторы представляют результаты исследований по интеграции стилей обучения на основании анализа ЦС в образовательные вебсистемы на базе LMS Claroline, Ganesha, Chamilo, Moodle. Такая интеграция результатов анализа ЦС поможет студентам в усвоении учебного контента курса. Однако авторы ограничились лишь сравнительным анализом LMS систем, не детализируя методики применения конкретного метода анализа ЦС студентов в системе LMS.

В [6] авторы, использовав методы кластерного анализа данных, полученных в том числе цифровыми следами студентов, попытались решить задачу, связанную с путями повышения эффективности образовательного процесса. Однако работа не рассматривает многие технологические аспекты анализа ЦС студентов.

Используя методы корреляционного и кластерного анализа, авторы исследования в [7] проанализировали стратегии образовательной деятельности студентов в различных социальных сетях.

В работах [8–9] авторы подробно исследовали с помощью различных методов ИАД зависимости между успехами студентов и их активностью в онлайн-курсах на базе LMS Moodle. Такие исследования позволили выявить поведенческие стратегии студентов во время онлайн-обучения.

Динамика роста инцидентов ИБ в учебных заведениях, активно внедряющих в образовательный процесс информационные системы и технологии, свидетельствует об эволюционировании такого рода угроз.

В исследованиях [8,9] авторами рассматриваются различные аспекты проблематики применения методов ИАД для обеспечения ИБ ЦОС учебного заведения.

В работах [9,10] авторы исследуют проблематику связи — «Цифровой след» — «Интеллектуальный анализ данных» — «Информационная безопасность».

Как показал анализ предыдущих исследований, Кластерный Анализ (КА) может быть полезным инструментом для разделения студентов, зарегистрированных в ЦОС учебного заведения и, в частности, в СДО, по уровню их технических знаний об ИБ, рисках и мерах безопасной работы в ЦОС учебного заведения. Методы кластерного анализа позволят выделить группы студентов на основе подобных характеристик и потребностей, которые также могут быть использованы для формирования индивидуальных образовательных программ.

Целью работы является выявление группы в ЦОС учебного заведения с наименьшими контекстно-зависимыми характеристиками по вопросам соблюдения правил ИБ при работе в данной среде и уровней рисков ИБ при работе разных категорий пользователей в ЦОС учебного заведения.

В этой связи необходимо решить следующие задачи:

1. идентифицировать массив подобных групп по определенным критериям;
2. провести анализ ЦС студентов, отнесенных к этой группе и провести кластерный анализ на основе метода k-means.

Методика исследования

Для выявления групп студентов и преподавателей в ЦОС учебного заведения с наименьшими знаниями и опытом в вопросах ИБ используется анализ ЦС и КА. Были последовательно реализованы следующие этапы:

Этап 1. Сбор данных. Были собраны доступные данные о пользователях, зарегистрированных в ЦОС университета с использованием соответствующих логов LMS Moodle и ОС. Эти данные описывали, например, прохождение соответствующих курсов по ИБ, степень и успеваемость (для студентов) выполнения заданий по ИБ, результаты тестирований и т.п. по соответствующим курсам, связанным с ИБ. Также эти данные получены на основании: оценки результатов тестирования студентов по темам ИБ; мониторинга активности пользователей в сети; оценки мер защиты в ЦОС университета (например, насколько активно студенты используют такие меры защиты, как стойкие пароли, двухфакторная аутентификация и шифрование данных, что свидетельствует об информированности пользователей относительно угроз ИБ).

Этап 2. Подготовка данных. Собранные данные были отфильтрованы для удаления неполных записей. А затем преобразованы в числовой формат.

Этап 3. Анализ цифровых следов: ЦС пользователей ЦОС университета могут указывать на риск ИБ. К таким ЦС можно отнести: поведенческие данные (необычные попытки доступа, например, к СДО, частые неудачные попытки входа в аккаунт, неожиданные изменения местоположения или устройств для доступа к учебным

материалам; аномальная активность (необычно интенсивное скачивание или копирование исходящих материалов) за рамки привычного использования), отклонения от привычного расписания (неожиданные или необычные периоды активности, входы в систему в необычное время для конкретного студента), изменения в обычных паттернах поведения;

Используя методы анализа ЦС, также была изъята дополнительная информация о познании, а также опыте студентов и преподавателей по ИБ, например, это может быть анализ активности в ЦОС университета, стиля поведения, участия в дискуссионных форумах и т.д.

Этап 4. Реализация КА. Применение методов КА для группирования студентов на основе их знаний и опыта по ИБ.

Этап 5. Интерпретация результатов.

Заметим, что результаты анализа ЦС и КА могут быть приближены и требуют дополнительной интерпретации, а также проверки. Однако эти методы могут помочь руководителям разных уровней учебного заведения начать процесс выявления групп студентов, имеющих наименьший уровень знаний и опыта по вопросам ИБ с целью повышения степени защищенности ЦОС университета в целом.

Отметим через Ω все множество пользователей, зарегистрированных в ЦОС университета. Для классификации и кластеризации нужно сформировать однородные по признаку кластеры пользователей по уровню рисков для ИБ ЦОС университета. Для этого воспользуемся методами кластерного анализа — иерархической классификацией и методом k-means.

В самом простом варианте в качестве метрики можно использовать эвклидовое расстояние.

$$\rho_{ik} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m}\left(z_{ji} - z_{jk}\right)^2}, \qquad (1)$$

где ρ_{ik} — расстояние между, соответственно, i, k наблюдениями, которое сформировано на основе стандартизированных данных, упомянутых выше;

z_{ji} — матрица стандартизированных данных.

Результаты

Выполним кластеризацию, используя максимально приближенные к действительности данные группы пользователей, зарегистрированных в ЦОС университета.

Пусть множество Ω шесть групп, приведенных в табл. 1. Данные получены на основе анализа ЦС пользователей, а именно студентов разных специальностей Алтайского филиала РАНХиГС.

Таблица 1.

Классификация пользователей, зарегистрированных в ЦОС университета по критерию рисков для ИБы

№	Название группы (типы пользователей)	Признаки (Описание модели поведения)
1	Знающие пользователи	К этой группе можно отнести пользователей, хорошо знающих риски в сети учебного заведения (или ЦОС учебного заведения в целом). Эти пользователи принимают меры по обеспечению ИБ своих данных и учетных записей в ЦОС учебного заведения. Они всегда придерживаются рекомендаций по созданию сложных паролей, регулярно обновляют программное обеспечение, не открывают подозрительные ссылки или вложения в электронных письмах, а также используют надежное антивирусное программное обеспечение (ПО) на своих устройствах.
2	Небрежные пользователи	В группу отнесены пользователи, которые не обращают должного внимания на мероприятия ИБ. Такие пользователи уязвимы для атак. Пользователей этой группы характеризуют использование слабых паролей, повторение паролей для различных аккаунтов, не своевременное обновление ПО, игнорирование подозрительной активности и мер по защите своих данных в ЦОС учебного заведения.
3	Незнающие пользователи	Группа содержит пользователей, не имеющих достаточного уровня знаний об ИБ, риски при работе в сети учебного заведения. Эта группа может использовать ненадежное ПО на своих устройствах при подключении к ЦОС учебного заведения, а также могут передавать конфиденциальные данные через незащищенные каналы связи
4	Равнодушные пользователи	В эту группу входят пользователи, которые не проявляют интереса к вопросам ИБ ЦОС учебного заведения. Эта категория пользователей не проверяет свои аккаунты по поводу взлома, не обращает внимание на предупреждения о возможных угрозах и т.д.
5	Безответственные пользователи	Участники образовательного процесса нарушают правила и политику ИБ в сети учебного заведения. Они могут попытаться получить несанкционированный доступ к системам ЦОС учебного заведения, распространять вредоносное ПО, нарушать конфиденциальность данных или вести недобросовестную активность в ЦОС учебного заведения.
6	Деструктивные пользователи	Эти пользователи пытаются нанести вред сети учебного заведения, в том числе распространяя вирусы, блокируя ресурсы сети и т.п.

Эти группы пользователей достаточно условны. Часто нет четких границ между группами пользователей. Также могут быть отличия между группами. По мере приобретения знаний, например, за счет соответствующих курсов пользователи могут переходить от одного типа к другому, осознавая важность ИБ в сети и принимая соответствующие меры для защиты своих данных и учетных записей.

Любую группу пользователей можно охарактеризовать, используя следующие признаки, пример приведенные на рис. 1:

1) Название специальности и ID группы пользователей (NS_IDGroup — доступно, например, с LMS Claroline, Ganesha, Chamilo, Moodle);
2) Курс/Год обучения 1–4/5 (Year_study — например, 1 (1-й курс) и т.д.) (берется, например, из LMS Claroline, Ganesha, Chamilo, Moodle);
3) Личная ответственность (Pers_resp (1–100)) — характеризуется наличием специфических признаков, например, степень аккуратности в обработке личных данных, частота смены паролей, базовые знания об ИБ, активность использования защищенных соединений при работе в ЦОС заведения и т.д. эти данные частично можно получить на основе анализа ЦС пользователей посредством LMS Claroline, Ganesha, Chamilo, Moodle, а также используя SIEM);
4) Средняя успеваемость по курсам, связанным с ИТ и ИБ (Aver_perf (0–100) — доступна, например, с LMS Claroline, Ganesha, Chamilo, Moodle));
5) Оценка компетентностей с ИБ (Comp_ass (0-10), например, наличие знаний о: фишинге, вредоносном ПО, использовании слабых/сильных паролей, обновлении ПО, включая операционную систему, безопасности сети, в том числе использование защищенного Wi-Fi; настройка брандмауэра и использование VPN; безопасное хранение данных и т.д.

Обсуждение результатов исследования

Цель КА — разбить пользователей ЦОС учебного заведения на классы. Причем каждый из таких классов отвечает своей группе риска в контексте ИБ. Попавшие в одну группу наблюдения характеризуются одинаковой вероятностью инцидента ИБ.

Исследование производилось с использованием пакета STATISTICA 12.5.

NS_IDGroup	Year_ study	Pers_ resp	Aver_ perf	Comp_ ass
Software Engineering_1501	1	21	68	4
Software Engineering_1501	2	40	74	5
Software Engineering_1501	3	56	77	6
Software Engineering_1501	4	65	84	6
Information Technology_1502	1	17	65	4
Information Technology_1502	2	37	77	5
Information Technology_1502	3	61	81	6
Information Technology_1502	4	71	96	6
Economic cybernetics_1503	1	21	71	4
Economic cybernetics_1503	2	44	76	5
Economic cybernetics_1503	3	60	80	6
Economic cybernetics_1503	4	71	74	7
Computer engineering_1504	1	22	69	4
Computer engineering_1504	2	42	75	5
Computer engineering_1504	3	61	74	7
Computer engineering_1504	4	75	78	9
Economy_1601	1	14	61	2
Economy_1601	2	29	73	3
Economy_1601	3	45	74	4
Economy_1601	4	50	75	4
Enterprise economy_1602	1	12	62	2
Enterprise economy_1602	2	25	73	3
Enterprise economy_1602	3	40	73	4
Enterprise economy_1602	4	49	75	4
Management_1701	1	11	65	2
Management_1701	2	27	72	3
Management_1701	3	39	73	3
Management_1701	4	42	75	4
Ecology_1604	1	12	66	2
Ecology_1604	2	26	73	3
Ecology_1604	3	34	72	3
Ecology_1604	4	41	80	4

NS_IDGroup	Year_ study	Pers_ resp	Aver_ perf	Comp_ ass
Software Engineering_1501	-1,32051	-0,97789	-0,87045	-0,20733
Software Engineering_1501	-0,44017	0,033262	0,032936	0,395806
Software Engineering_1501	0,44017	0,884758	0,484629	0,998939
Software Engineering_1501	1,320511	1,363725	1,538579	0,998939
Information Technology_1502	-1,32051	-1,19077	-1,32214	-0,20733
Information Technology_1502	-0,44017	-0,12639	0,484629	0,395806
Information Technology_1502	0,44017	1,150851	1,086886	0,998939
Information Technology_1502	1,320511	1,683037	3,345352	0,998939
Economic cybernetics_1503	-1,32051	-0,97789	-0,41876	-0,20733
Economic cybernetics_1503	-0,44017	0,246136	0,334065	0,395806
Economic cybernetics_1503	0,44017	1,097633	0,936322	0,998939
Economic cybernetics_1503	1,320511	1,683037	0,032936	1,602073
Computer engineering_1504	-1,32051	-0,92467	-0,71989	-0,20733
Computer engineering_1504	-0,44017	0,139699	0,1835	0,395806
Computer engineering_1504	0,44017	1,150851	0,032936	1,602073
Computer engineering_1504	1,320511	1,895911	0,635193	2,808339
Economy_1601	-1,32051	-1,35042	-1,9244	-1,41359
Economy_1601	-0,44017	-0,55214	-0,11763	-0,81046
Economy_1601	0,44017	0,299354	0,032936	-0,20733
Economy_1601	1,320511	0,565447	0,1835	-0,20733
Enterprise economy_1602	-1,32051	-1,45686	-1,77384	-1,41359
Enterprise economy_1602	-0,44017	-0,76502	-0,11763	-0,81046
Enterprise economy_1602	0,44017	0,033262	-0,11763	-0,20733
Enterprise economy_1602	1,320511	0,512229	0,1835	-0,20733
Management_1701	-1,32051	-1,51008	-1,32214	-1,41359
Management_1701	-0,44017	-0,65858	-0,26819	-0,81046
Management_1701	0,44017	-0,01996	-0,11763	-0,81046
Management_1701	1,320511	0,139699	0,1835	-0,20733
Ecology_1604	-1,32051	-1,45686	-1,17158	-1,41359
Ecology_1604	-0,44017	-0,7118	-0,11763	-0,81046
Ecology_1604	0,44017	-0,28605	-0,26819	-0,81046
Ecology_1604	1,320511	0,08648	0,936322	-0,20733

Рис. 1. Скриншоты таблицы в STATISTICA 12.5 с исходными данными для анализа и со стандартизированными переменными

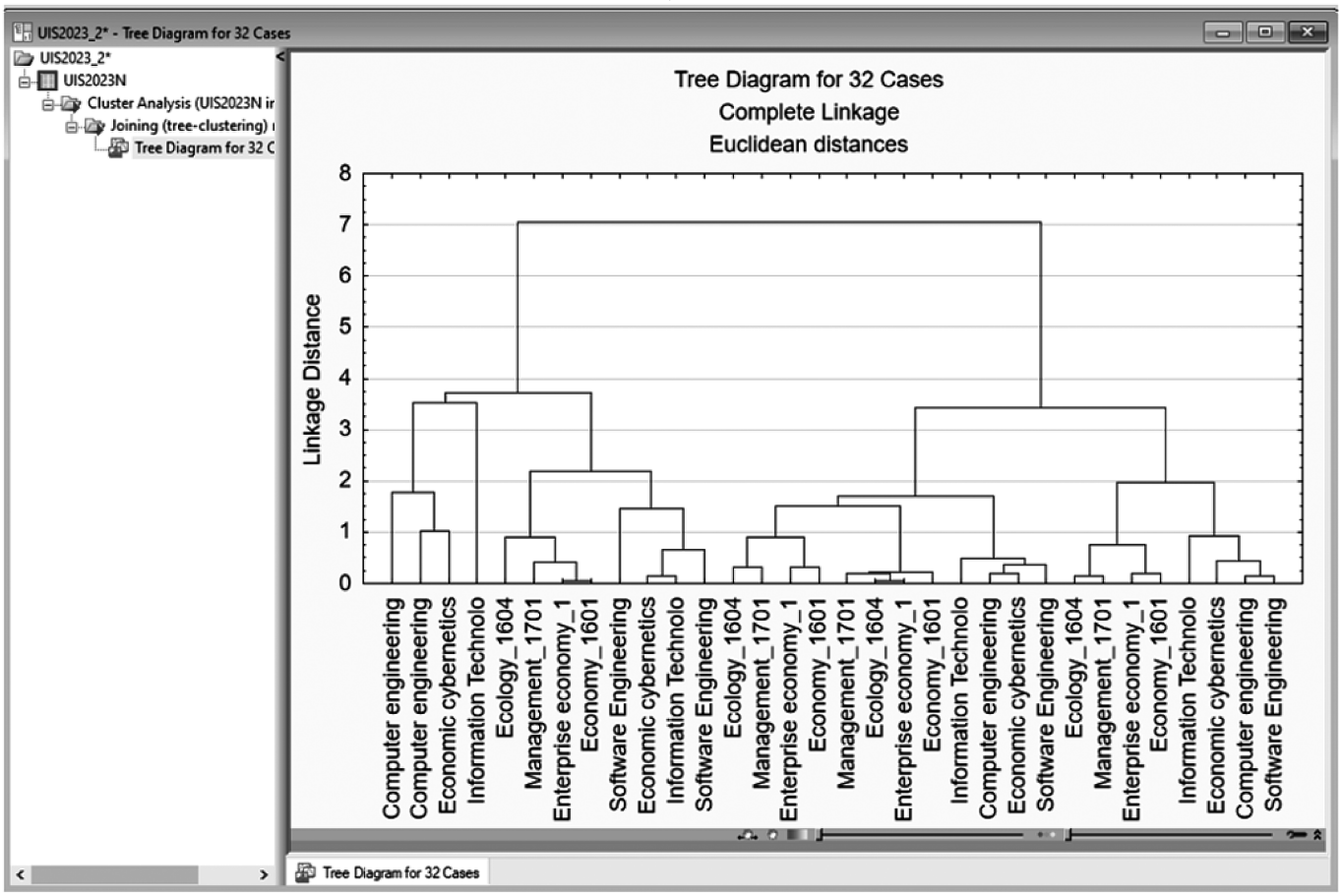


Рис. 2. Скриншот результатов иерархической классификации (пакет STATISTICA 12.5)

На первом этапе на основе иерархической классификации были получены дендрограммы, необходимые для группировки объектов в подмножества (кластеры), на основе их сходства (рис. 2).

Необходимо среди имеющегося множества групп выделить соответствующие кластеры. Например, пользователи, отнесенные к опасным с точки зрения критериев ИБ и рискам для ЦОС учебного заведения, безразличны и нейтральны по оцениваемым признакам.

Предположение. Данные обо всех вышеуказанных признаках доступны и могут быть оценены и измерены. К примеру, изменение пароля, IP и другие ЦС можно отслеживать в системах LMS, а также с помощью уже упомянутых SIEM систем.

В результате исследования на основе метода k-means были получены графики средних и доверительных интервалов для переменных в каждом кластере, характеризующих пользователей ЦОС учебного заведения в контексте соблюдения правил ИБ и влияния их стиля работы на риски для ИБ (рис. 3).

Сравнив метод k-means и иерархическую классификацию, следует отметить, что несомненным преимуществом первого метода является возможность работы с первичными данными. Это позволит, например, специалистам по ИБ учебных заведений, обрабатывать достаточно большие объемы данных, которые можно импортировать из LMS в формате *.csv.

В случае значительного информационного массива пользователей больших учебных заведений это несомненное преимущество. Более того, метод k-means может компенсировать последствия некачественного исходного разбиения исходного массива данных.

Заключение

В работе представлены результаты исследования уровня компетентностей пользователей разных специальностей Цифровой Образовательной Среды Университета (ЦОСУ) по вопросам, связанным с ИБ. Используются методы кластерного анализа и анализа ЦС пользователей ЦОС. На основе анализа ЦС разных групп зарегистрированных пользователей в ЦОС университета было исследовано поведение шести типов пользователей. Эти типы пользователей различных специальностей, рассматриваемых в тестовом наборе, в результате применения иерархической классификации и метода k-means были разбиты на соответствующие кластеры

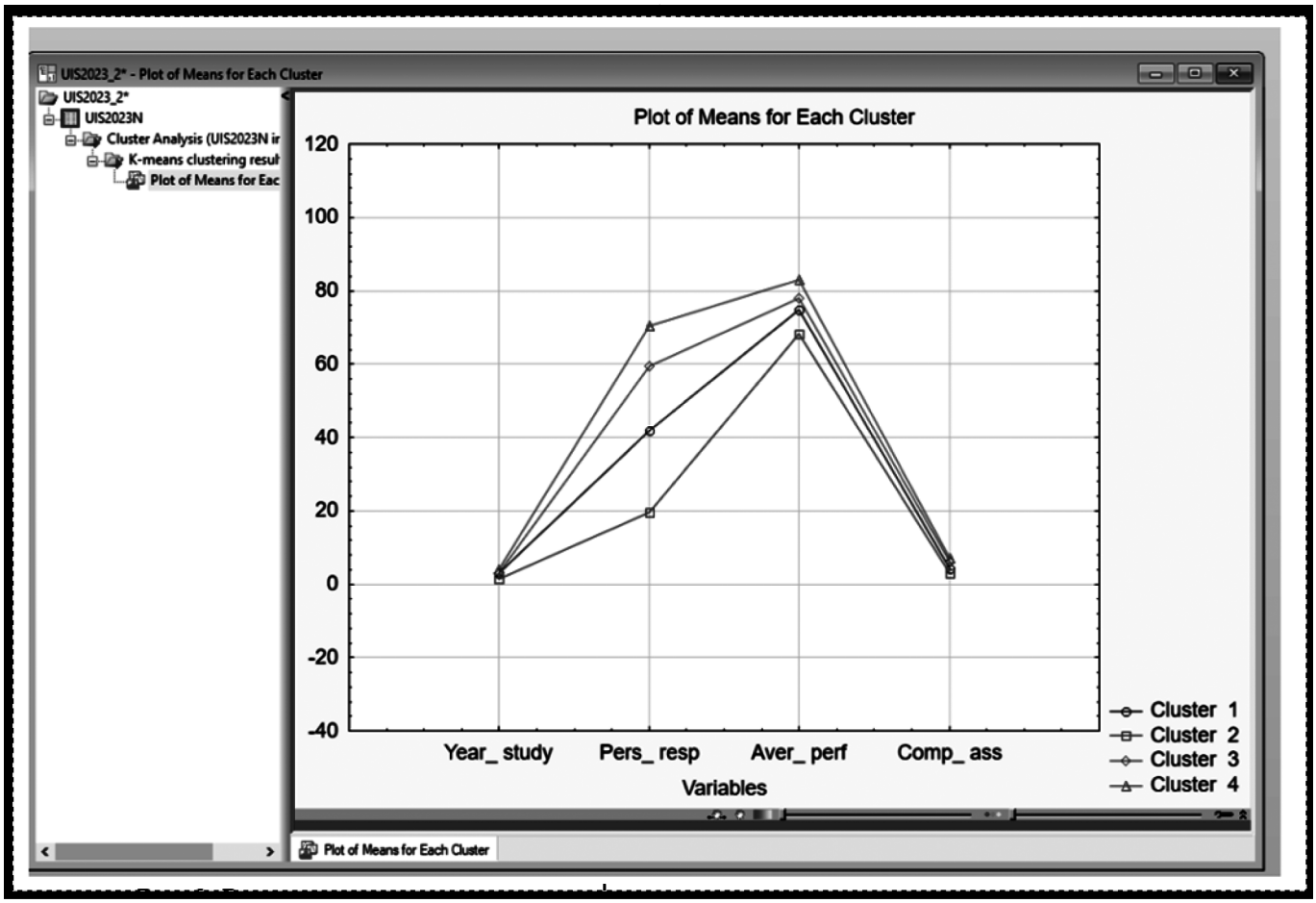


Рис. 3. Результаты кластерного анализа

по критериям, влияющим на риски ИБ ЦОС учебного заведения. Для каждого кластера экспертом из ИБ ЦОС университета может определяться вероятность наступления случаев, связанных с высоким уровнем риска ИБ, и, соответственно, могут приниматься меры по устранению причин таких случаев и разрабатываться рекомендации для пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Oliveira P., Cunha C., Nakayama M. Learning Management Systems (LMS) and E-learning Management: An Integrative Review and Research Agenda // JISTEM-J. Inf. Syst. Technol. Manag. 2016. V.13. P. 157–180.
2. Aldiab A., et al. Utilization of Learning Management Systems (LMSs) in Higher Education System: A Case Review for Saudi Arabia // Energy Procedia. 2019. V. 160. P. 731–737. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.186
3. Azcona D., Hsiao I., Smeaton A. Detecting Students-at-Risk in Computer Programming Classes with Learning Analytics from Students' Digital Footprints. User Modeling and User-Adapted Interaction. 2019. V. 29. P. 759–788. https://doi.org/10.1007/s11257-019-09234-7
4. Nai R., et al. Process Mining on Students' Web Learning Traces: A Case Study with an Ethnographic Analysis. European Conference on Technology Enhanced Learning // Lecture Note in Computer Science. 2023. V. 14200. P. 599–604. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42682-7_48
5. Mohssine B., et al. Adaptive Help System Based on Learners 'Digital Traces' and Learning Styles // Int. J. Emerging Technol. Learning. 2021. V.16. №10. P. 288–294. https://doi.org/10.3991/ijet.v16i10.19839
6. Ye D., & Pennisi S. Using Trace Data to Enhance Students' Self-Regulation: A Learning Analytics Perspective // The Internet and Higher Education. 2022. V. 54. P. 100855. https://doi.org/10.1016/j.iheduc.2022.100855
7. Noskova T., Pavlova T., Yakovleva O. Study of Students' Educational Activity Strategies in the Social Media Environment // E-learning and Smart Learning Environment for the Preparation of New Generation Specialists. 2018. V.10. P. 113–125.
8. Kadoić N., Oreški D. Analysis of Student Behavior and Success Based on Logs in Moodle. 2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). 2018. https://doi.org/10.23919/MIPRO.2018.8400123
9. Mogus A., Djurdjevic I., Suvak N. The Impact of Student Activity in a Virtual Learning Environment on Their Final Mark // Active Learning in Higher Education. 2012. V.13. №3. P. 177–189. https://doi.org/10.1177/1469787412452985
10. Stiller K., Bachmaier R. Identifying Learner Types in Distance Training by Using Study Times // EDEN Conference Proceedings. 2018. V. 1. P. 78–86.

© Степанов Михаил Александрович (levacat77@gmail.com)

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.39

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ СОЧЛЕНЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

CREATING DIGITAL DOUBLES OF ARTICULATED OBJECTS BASED ON THEIR INTERACTION

K. Timakov

Summary. Digitization of physical objects in the digital space has the potential to open new research and applications in embodied AI and mixed reality. This work examines the issue of creating interactive digital counterparts of real articulated objects that can be used in a virtual environment. The article also examines the Ditto model for studying the evaluation of articulated objects and reconstructing the three-dimensional geometry of an articulated object through interactive perception based on the data obtained. Given a pair of visual observations of the object of interest before and after the interaction, the Ditto model reconstructs the geometry at the level of the parts and evaluates the articulation model of the object. Based on this model, the use of the Iterative Closest Point (ICP) algorithm is proposed, which significantly improves the quality of the input data to improve the quality of the resulting digital doubles and correctly determine their articulation.

Keywords: Ditto, ICP, point clouds, hinge, articulated object, AI, digital twin.

Тимаков Кирилл Александрович
МИРЭА — Российский технологический университет
Tim1997.10@yandex.ru

Аннотация. Оцифровка физических объектов в цифровом пространстве имеет потенциал для открытия новых исследований и приложений в воплощенном ИИ и смешанной реальности. Данная работа рассматривает вопрос создания интерактивных цифровых двойников реальных сочлененных объектов, которые могут быть использоваться в виртуальной среде. Так же в статье идет рассмотрение модели Ditto для изучения оценки шарнирных объектов и реконструкции трехмерной геометрии сочлененного объекта посредством интерактивного восприятия на основе полученных данных. Учитывая пару визуальных наблюдений объекта интереса до и после взаимодействия, модель Ditto реконструирует геометрию на уровне частей и оценивает модель сочленения объекта. На основе данной модели предлагается использование алгоритма Iterative Closest Point (ICP), что позволяет значительно улучшить качество входных данных, для улучшения качества получаемых цифровых двойников и корректного определения их сочленения.

Ключевые слова: Ditto, ICP, облака точек, шарнир, сочлененный объект, ИИ, цифровой двойник.

Введение

Синтетические данные приобретают все большее значение в развитии современных приложений искусственного интеллекта, обеспечивая необходимые ресурсы для обучения и прототипирования моделей компьютерного зрения, а также для обучения роботизированных систем выполнению физических задач. В условиях экспоненциального роста масштаба и требовательности к данным современных моделей ИИ, виртуальные платформы и синтетические наборы данных предоставляют экономически эффективный и масштабируемый источник обучающих материалов. Для обеспечения эффективного использования синтетических данных в обучении моделей машинного зрения, критически важным фактором является реализм, поскольку расхождения в распределениях данных между реальным и виртуальным мирами ограничивают обобщающую способность моделей, обученных в симуляционных средах. Одним из перспективных направлений для уменьшения разрыва в реализме является оцифровка физических объектов и их последующее воссоздание в цифровых средах. Несмотря на значительные достижения в области 3D-зрения и одновременной локализации, и картографирования (SLAM) в части захвата реалистичных объектов и сцен с формированием статических трехмерных моделей, растущий спрос со стороны исследований в области воплощенного искусственного интеллекта и смешанной реальности требует разработки интерактивных цифровых двойников физических объектов, способных к интеграции в смоделированные среды и взаимодействию с виртуальными агентами. В частности, создание цифровых двойников сочлененных объектов представляет собой сложную научно-техническую задачу. Процесс работы визуализации 3D с использованием ИИ модели Ditto представлен на рисунке 1.

Рассматриваемый метод создания цифровых двойников сочлененных объектов, основанный на интерактивном восприятии, позволяет совместно реконструировать геометрию отдельных элементов и оценить модель сочленения объекта, используя визуальные данные, полученные до и после взаимодействия. Полученные в результате цифровые двойники могут быть интегрированы в физические движки и обеспечивают полную интерактив-

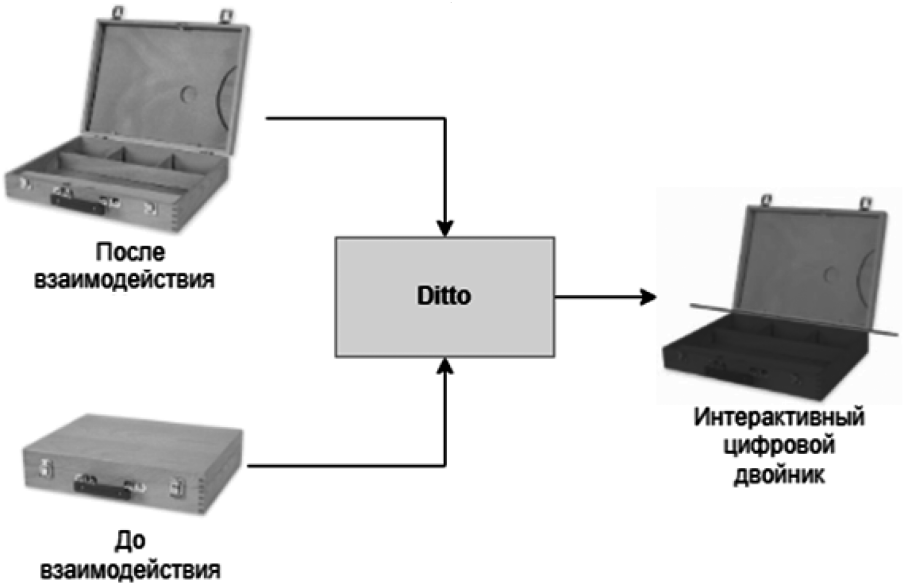


Рис. 1. Представление работы визуализации 3D с использованием ИИ модели Ditto

ность в приложениях моделирования движения роботов и/или дополненной/виртуальной реальности (AR/VR).

Рассматривая ситуацию цифровых двойников, можно заметить, что в последние годы в рамках развития воплощенных платформ искусственного интеллекта наблюдается тенденция интеграции интерактивных соленных или шарнирных объектов («articulated objects»), к примеру, предметы быта, в симулированные с целью обучения виртуальных агентов. Существующие методы создания в значительной степени зависят от участия ряда специалистов, что ограничивает масштабируемость систем. Автоматизация оценки и реконструкции сочлененных объектов на основе методов машинного зрения является активно развивающимся направлением исследований, которому способствуют новые инструменты, разработанные сообществом 3D-зрения, в частности методы геометрического глубокого обучения и неявные нейронные представления.

В рамках данной работы поставлена задача рассмотрение полноценных виртуальных моделей сочлененных физических объектов, не принадлежащих к известным категориям, а также рассмотрения алгоритма их визуализации для дальнейшего улучшения с помощью применения нового подхода с использованием алгоритма ICP. Данные цифровые двойники должны представлять геометрические и физические характеристики отдельных частей объекта, а также параметры их сочленений, включая призматические и вращательные шарниры. Оценка параметров сочленения по одному изображению, независимо от категории объекта, является неоднозначной задачей, поскольку движение частей может интерпретироваться как перемещение вдоль призматической оси или вращение вокруг оси вращения, в зависимости от кинематических характеристик шарнира. В продолжение исследований в области интерактивного восприятия шарнирных объектов, предлагается метод построения цифровых двойников на основе визуальных данных, полученных до и после осуществления движения сочлененных частей. Данная модель включает в себя три взаимосвязанные подзадачи: сегментацию объекта на отдельные части с использованием информации о движении, реконструкцию геометрии частей на основе неполных данных в виде облака точек, и оценку параметров сочленения с учетом неизвестного типа сочленения [1]. На рисунке 2, представлена схема взаимодействия между различными этапами решения задачи создания цифровых двойников сочлененных объектов.

В данной работе рассматривается система Ditto (Digital twin of articulated objects), представляющая собой неявную нейронную модель, разработанную для совместного предсказания геометрии отдельных частей и кинематических параметров сочленений. Для кодирования трехмерной информации с высокой разрешающей способностью и непрерывностью используются неявные нейронные представления. Архитектура Ditto основана на ConvONets, которая обучает локальные неявные поля, используя сверточные сетки признаков. Входными данными для Ditto являются частичные данные в виде облаков точек, представляющих сочлененный объект до и после взаимодействия с одной из его частей. Ключевой технической задачей является установление соответствия между этими двумя наборами данных. Для этого облака точек кодируются с использованием PointNet++ в два набора подвыборочных точечных признаков. Далее, эти наборы объединяются посредством слоя самовнимания, после чего объединенные подвыборочные признаки декодируются в плотные точечные признаки. На основе декодированных

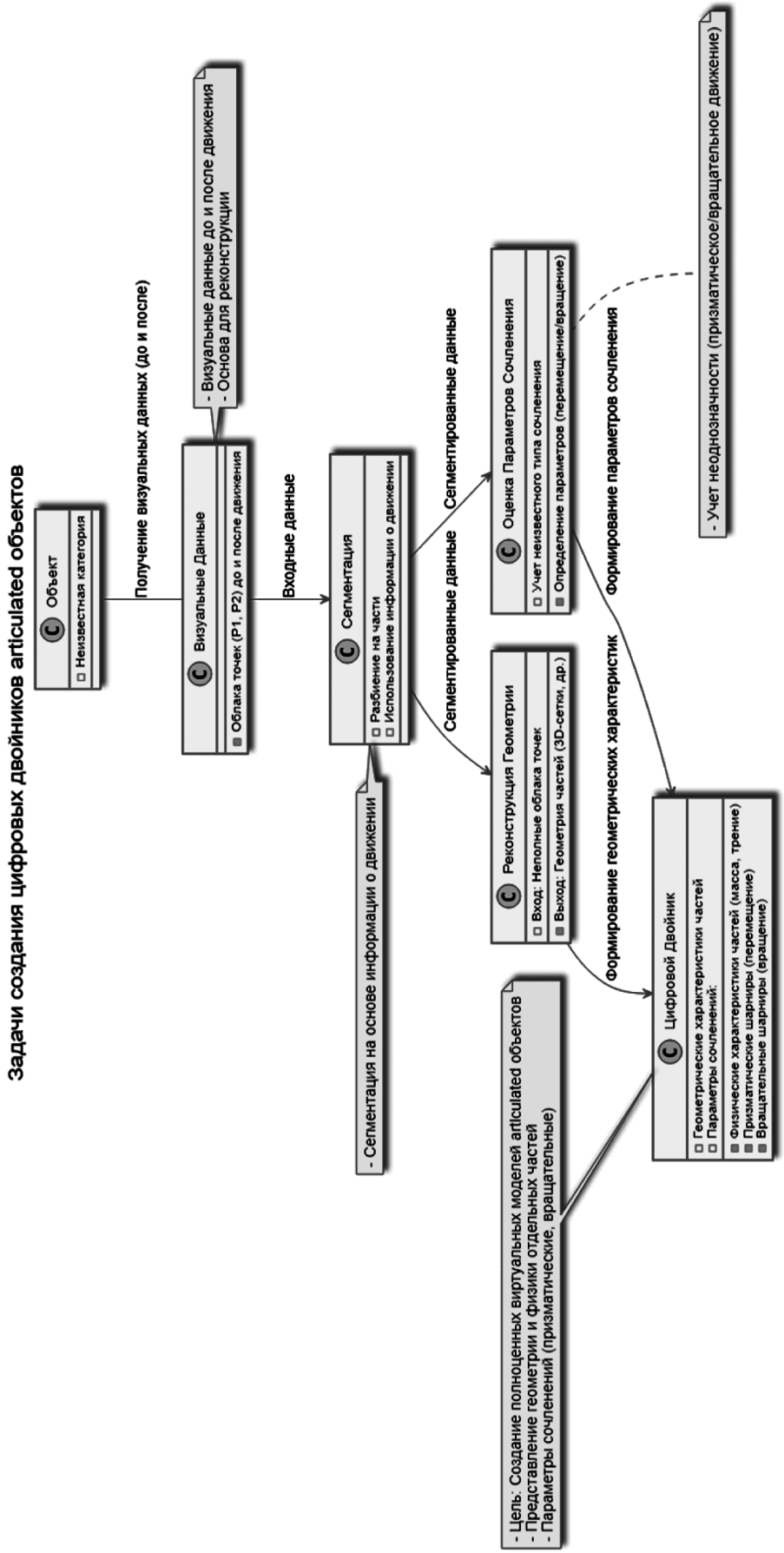


Рис. 2. Схема последовательности действий и взаимосвязи между различными этапами решения задачи создания цифровых двойников сочлененных объектов

точечных признаков строится структурированная сетка признаков, что позволяет вычислять локальный признак для заданной трехмерной координаты запроса. Система включает неявный декодер занятости и декодер сегментации, которые отображают трехмерную координату и ее локальный признак в метку занятости/сегментации части, обеспечивая воссоздание геометрии на уровне отдельных частей. Также, использование набора неявных декодеров, предсказывают относительные параметры сочленения в каждой точке запроса. Такой подход к предсказанию параметров сочленения позволяет повысить надежность оценки по сравнению с глобальным предсказанием параметров сочленения.

Формулировка проблемы

В данной работе изучается и рассматривается решение проблемы воссоздания интерактивных цифровых двойников шарнирных объектов из пары изображений объекта до и после взаимодействия, а также способы улучшения создания таких двойников при помощи различных алгоритмов и моделей. Цифровые двойники обычно представлены в стандартных 3D-форматах, таких как URDF, чтобы их можно было импортировать в физические движки. Чтобы обеспечить физическое взаимодействие в виртуальном мире, цифровой двойник шарнирного объекта представляет собой кинематическое дерево, где узлы определяют геометрию и физические свойства (например, массу и трение) отдельных частей, а ребра определяют кинематические соединения между частями. Эта работа фокусируется на оценке геометрии частей объекта и кинематики шарниров при установке физических свойств на значения по умолчанию на основе собранной информации. На рисунке 3, представлена архитектура ИИ модели Ditto, которая предлагается для использования с целью нарождения мест сочленения объекта.

После этапа кодирования с использованием PointNet++ [2], производится слияние подвыборочных точечных признаков с помощью простого слоя внимания. Далее, используются два независимых декодера для преобразования объединенных точечных признаков в два набора плотных точечных признаков, предназначенных для реконструкции геометрии и оценки параметров сочленения, соответственно. Посредством проецирования и усреднения точечных признаков конструируются сетки/плоскости признаков, что позволяет извлекать локальные признаки для заданных координат запроса. С учетом локальных признаков различные декодеры используются для предсказания занятости, сегментации и параметров шарниров относительно точек запроса.

Моделью предполагается, что у объекта есть только одна подвижная часть, с которой возможно взаимодействие. Входными данными для Ditto являются пара наблюдаемых облака точек P1, P2 $\in R^{N\times 3}$ сочлененного объекта до и после взаимодействия, где N — количество входных точек. Конечной целью работы модели является сегментация и реконструкция трехмерной геометрии для статических подвижных частей, оценка параметров соединений, двух частей, и относительное изменение состояний соединений. Стоит отметить, что представленные методы могут работать и для обычных не подвижных частей для их 3D визуализации, что даст в дальнейшем возможность подумать над реализацией подвижных частей в данных объектах.

Для оценки параметров сочленения рассматриваются одномерные вращательные (revolute) и призматический (prismatic) шарниры. Используется параметризация шарниров, предложенная в работе [3]. Параметры поступательного шарнира включают в себя направление оси перемещения $u_p \in R^3$ и состояние шарнира c^p. Состояние шарнира c^p определяется как относительное расстояние перемещения между двумя наблюдениями. Параметры вращательного шарнира включают в себя направление оси вращения $u^r \in R^3$, опорную точку $q \in R^3$ на оси вращения и состояние шарнира c_r. Состояние шарнира c_r определяется как относительный угол поворота между двумя наблюдениями.

Двухпоточный кодер

Для реализации совместного обучения трехмерной реконструкции и оценки модели сочленения используется извлечение признаков, объединяющих информацию из входной пары облаков точек. Для построения кодировщика используется архитектура ConvONets, представляющая собой современный метод 3D реконструкции, основанный на неявном представлении [4]. Для объединения двух наборов точечных признаков, полученных из двух наборов облаков точек, применяется слой внимания. Следует отметить, что вычислительная сложность операций слоя внимания демонстрирует квадратичную зависимость от количества точек интереса.

С целью обработки более плотных облаков точек, обеспечивающих захват более мелких деталей объекта, используется кодировщик PointNet++ [5] (μ_{enc}) для получения двух наборов подвыборочных точечных признаков: $f_1 = \mu_{enc}(P1)$ и $f_2 = \mu_{enc}(P2)$, где $f_1, f_2 \in R^{N'\times dsub}$, $N^1 < N$ — количество подвыборочных точек, а d_{sub} — размерность подвыборочных точечных признаков. К полученным подвыборочным точечным признакам применяется операция внимания на основе скалярного произведения.

$$Attn_{12} = \text{softmax}\left(\frac{f_1 f_2^T}{\sqrt{d_{sub}}}\right) f_2, \quad f_{12} = \left[f_1, Attn_{12}\right].$$

Объединенные подвыборочные точечные признаки $f_{12} \in R^{N'\times dsub}$ представляют собой конкатенацию f_1 и ре-

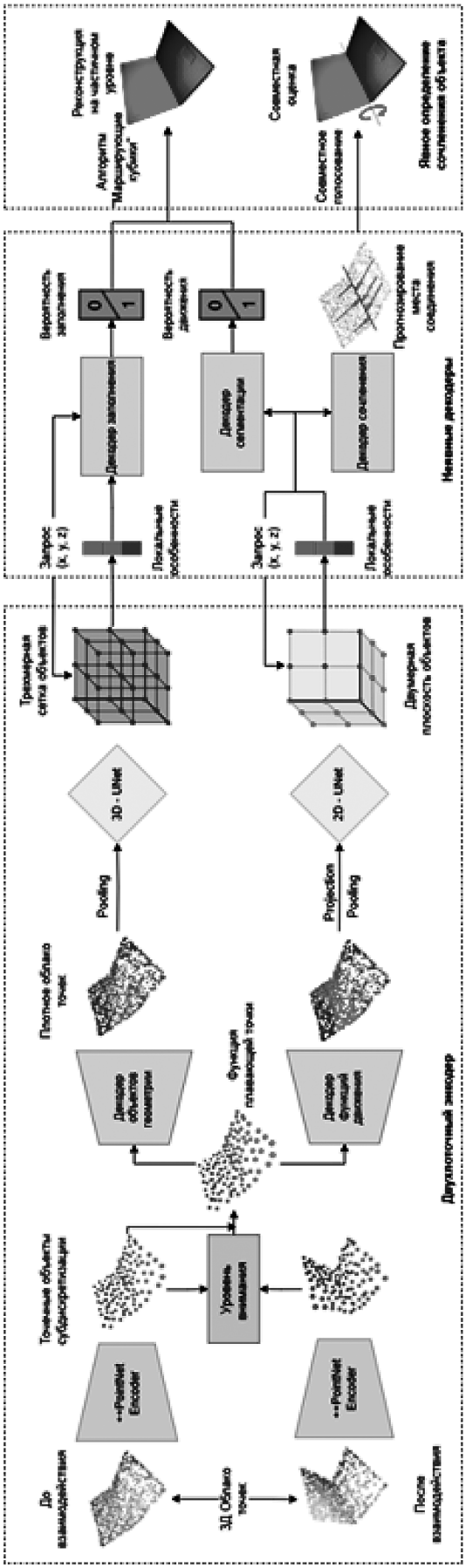


Рис. 3. Архитектура модели Ditto

зультата операции внимания. Далее, используются два декодера PointNet++ (v_{geo} и v_{art}) для преобразования объединенных подвыборочных точечных признаков в плотные признаки, выровненные с исходными точками.

$$f_{geo} = v_{geo}(f_{12}) \quad \text{and} \quad f_{art} = v_{art}(f_{12}),$$

где $f_{geo}, f_{art} \in R^{N' \times ddsub}$ — это d_{dense}-мерные точечные признаки, выровненные с P1. Использование двух отдельных наборов плотных точечных признаков обусловлено тем, что реконструкция геометрии в основном использует статичные наблюдения, в то время как оценка параметров сочленения в большей степени опирается на соответствие между двумя наблюдениями. Кроме того, обработка этих признаков осуществляется раздельно. fart проецируется на двумерные плоскости признаков, а f_{geo} — на воксельные сетки, аналогично ConvONets [6]. Точки, попадающие в одну и ту же ячейку пикселя или вокселя, агрегируются с помощью max pooling. Данная операция проецирования существенно снижает вычислительные затраты, сохраняя пространственное распределение точечных признаков. Проецирование применяется к трем каноническим плоскостям с и грубой воксельной сетке v. Полученные плоскости и сетка признаков обрабатываются независимыми 2D и 3D UNet [7]. Выходная воксельная сетка признаков используется для неявного декодера геометрии, а плоскости признаков — для неявных декодеров параметров сочленения. Неявный декодер геометрии требует плотные сетки признаков для точной локальной обработки, в то время как для оценки параметров сочленения достаточно разреженных плоскостей признаков.

Неявные декодеры

Опираясь на результаты современных исследований [8, 9, 10], демонстрирующих непрерывность и универсальность неявных нейронных представлений, разрабатываются неявные декодеры для задач восстановления геометрии и определения параметров сочленения. Поскольку обе задачи требуют детального анализа геометрии, входными данными для неявных декодеров являются локальные признаки. Локальные признаки вычисляются на основе сетки/плоскостей признаков с использованием трилинейной/билинейной интерполяции по заданной трехмерной координате запроса $p \in R^3$.

Предлагается неявный декодер геометрии, реализующий отображение координаты $p \in R^3$ в вероятность заполнения $o(p)$ в данной координате. Значение $o(p)$ должно быть равно 1, если точка p находится внутри объекта, и 0 в противном случае. Локальный признак ψ_p^v извлекается из сетки признаков v посредством трилинейной интерполяции. С учетом координаты запроса p и локального признака ψ_p^v неявный декодер геометрии предсказывает вероятность заполнения:

$$f_{\theta_o}\left(p, \psi_p^v\right) \rightarrow o(p).$$

Неявные декодеры сочленения отображают произвольную точку p, расположенную внутри объекта, метку сегментации и параметры шарниров, относящиеся к данной точке. Рассматривается только внутреннее пространство объекта, поскольку оценка параметров сочленения имеет смысл только для точек внутри него. Локальный признак $\psi_{p_m}^c$ извлекается из плоскостей признаков с помощью билинейной интерполяции.

Сегментация. В рамках предположения, что в результате взаимодействия изменяется только состояние одного шарнира, предлагается сегментировать объект на статическую и подвижную части для каждого взаимодействия. Следовательно, прогнозируется бинарная метка сегментации $s(p_{in})$, где 0 является статической частью, а 1 — подвижная часть. Неявный декодер сегментации предсказывает вероятность сегментации, основываясь на локальном признаке объекта:

$$f_{\theta_{seg}}\left(p_{in}, \psi_{p_{in}}^c\right) \rightarrow s(p_{in}).$$

Параметры сочленения. Несмотря на то, что параметры сочленения являются глобальными характеристиками сочлененного объекта, для повышения эффективности структурированного представления признаков и повышения надежности оценки за счет процедуры голосования используется представление для каждой точки. Плоскости признаков используются совместно для прогнозирования параметров сочленения и сегментации, поскольку параметры сочленения могут быть выведены на основе таких признаков движения, как сегментация. Первым шагом является применение неявного декодера для определения (предсказания) типа шарнира $P_{j\text{type}}$.

$$f_{\theta_{type}}\left(p_{in}, \psi_{p_{in}}^c\right) \rightarrow p_{j_{type}}(p_{in}).$$

Далее используются два неявных декодера которые служат для определения параметров и состояний призматических и вращательных шарниров. Призматический шарнир определяется направлением оси трансляции, представленным единичным вектором u^p. Состояние шарнира определяется расстоянием трансляции c^p, возникающим в результате взаимодействия. Параметры вращательного шарнира включают направление оси вращения u^r. В отличие от призматического шарнира, положение оси вращательного шарнира также является значимым параметром. В соответствии с подходом Li et al [11], положение шарнира относительно точки p_{in} определяется как проекция p_{in} на ось, которая представлена единичным вектором $d_{p_{in}}^r$ для направления проекции и скаляром $h_{p_{in}}^r$ для расстояния проекции. Со-

стояние вращательного шарнира определяется углом поворота c^r, возникающим в результате взаимодействия. Непосредственное предсказание этих параметров осуществляется с помощью неявных декодеров:

$$f_{\theta param_p}\left(p_{in}, \psi^c_{pin}\right) \rightarrow \left[u^p, c^p\right], \backslash$$

$$f_{\theta param_r}\left(p_{in}, \psi^c_{pin}\right) \rightarrow \left[u^r, d^r_{pin}, h^r_{pin}, c^r\right]$$

Так, немного подкорректировав данные формулы можно адоптировать и для сканирования обычных объектов. Вход: Облако точек $P \in R^{(N \times 3)}$ (после возможной регистрации нескольких сканов)

1. Кодирование геометрии:

$$f_{geo} = \mu_{enc}(P) \in R^{M \times dgeo},$$

где μ_{enc} — оптимизированный кодировщик PointNet++ или другая архитектура кодирования.

M — количество точечных признаков

d_{geo} — размерность точечных признаков

2. Проекция признаков:

Используем только проецирование на воксельную сетку:

$$v = Projection(f_{geo})$$

3. Обработка признаков:

$$v_{unet} = 3D_{UNet(v)}$$

4. Неявный декодер геометрии:

Для произвольной точки $p \in R^3$:

ψ^v_p = TrilinearSampling (v_{unet}, p) — Извлечение локальных признаков из воксельной сетки

$o(p) = f_{\theta o}(p, \psi^v_p)$ — Предсказание вероятности занятости

Вывод: 3D-модель объекта, полученная путем извлечения из поверхности из неявного поля занятости $o(p)$. При реализации и обучении нейронной сети можно получить следующий результат, указанный на рисунке 4.

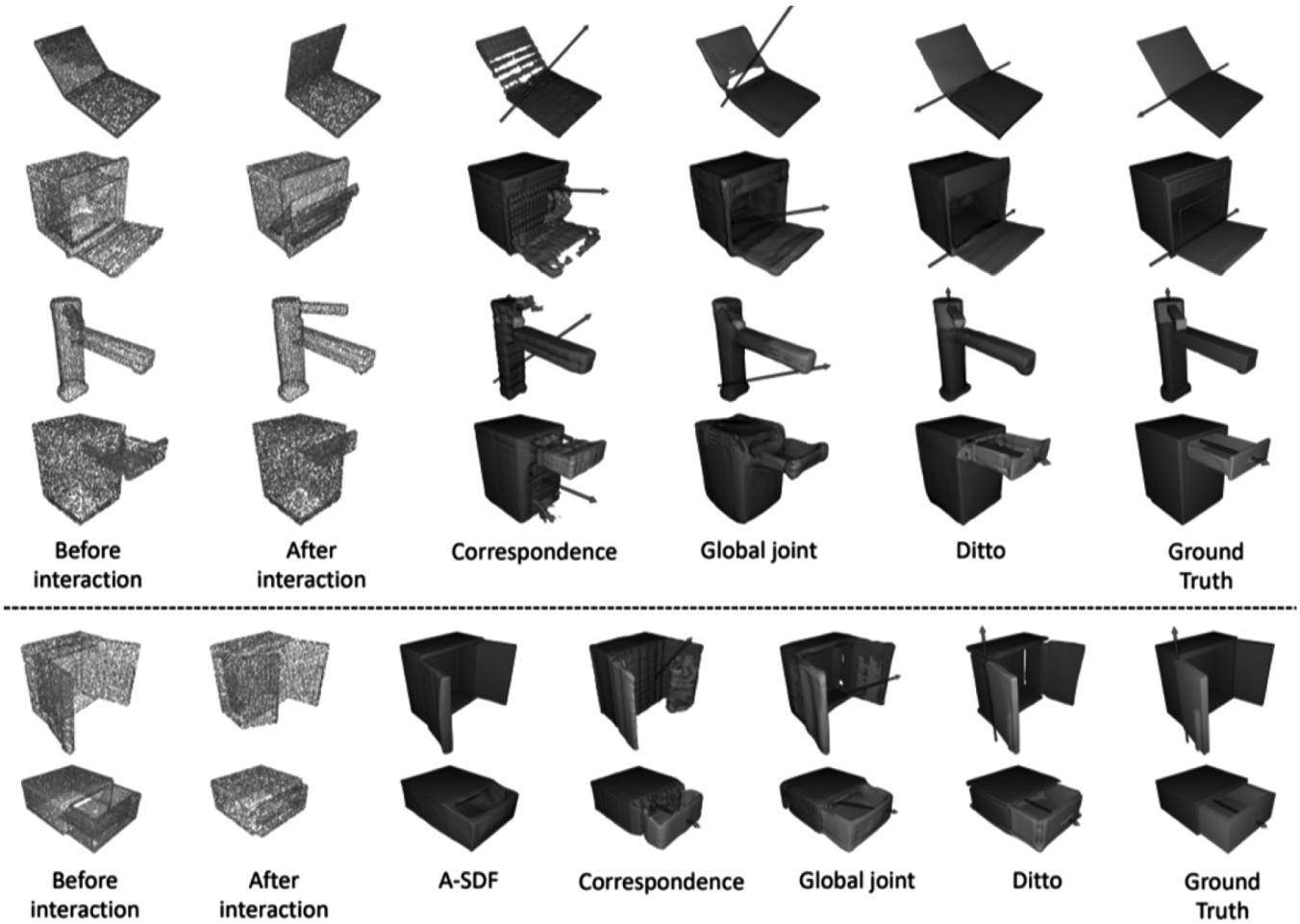


Рис. 4. Представлены результаты реконструкции ранее не наблюдаемых сочлененных объектов [12]

Улучшение работы путем интеграции с алгоритмами регистрации облаков точек

Использование алгоритмов регистрации облаков точек в трехмерном пространстве, таких как Iterative Closest Point (ICP) [13], может значительно улучшить процесс создания цифровых двойников шарнирно-сочлененных объектов, особенно в случаях, когда доступно несколько изображений объекта, частично охватывающих его поверхность.

Алгоритм Ditto использует информацию о взаимодействии с объектом для установления соответствий между двумя облаками точек до и после манипуляций над ним. Однако, если на вход поступают множественные, не выровненные неполные изображения, эффективность Ditto может начать снижаться. Справиться с данной проблемой возможно, за счет использования алгоритма регистрации облаков точек, который призван выровнять и объединить несколько частичных изображений в один полный и когерентный набор облаков точек. Это обеспечит более полную и точную геометрическую информацию для Ditto, что улучшает процесс реконструкции и оценки его сочленений.

Для использования ICP в связке с Ditto, необходимо, верно, выстроить интеграцию. Перед подачей данных в Ditto, необходимо выполнить этап предварительной обработки, а именно, получить как можно больше изображений объекта, максимально охватывающих все поверхность. Выделить из изображений облака точек с последующим удалением шумов и выбросов, с целью улучшения входных данных. После подготовки начинается использование алгоритма ICP для выравнивания и объединения облаков точек. Процесс начинается с выбора одного облака точек в качестве опорного (целевого). Затем происходит итеративное выравнивание остальных облаков точек относительно опорного, минимизируя расстояние между соответствующими точками. На этом этапе также происходит настройка параметров ICP, таких как максимальное количество итераций, порог сходимости, и выбор начального приближения.

После выравнивания и объединения всех облаков точек в одно полное облако происходит подача данных в Ditto. В случае, если Ditto требует два облака точек (до и после взаимодействия), необходимо либо создать эти облака искусственно (например, путем небольшого смещения частей объекта в виртуальном пространстве), либо адаптировать Ditto для работы с одним облаком точек. На рисунке 5 представлена схема применения алгоритма ICP в процессе создания цифровых двойников.

Рис. 5. Схема применения алгоритма ICP в процессе создания цифровых двойников

Алгоритм Iterative Closest Point (ICP)

Целью алгоритма ICP является нахождение оптимального преобразования, состоящего из вращения и трансляции, для выравнивания и сопоставления между собой двух облаков точек. Данные облака точек получаются за счет большего количества изображений одного объ-

екта, сделанных с разных ракурсов, максимально охватывающих всю поверхность объекта.

Перед тем как рассмотреть принцип действия алгоритма, рассмотрим основные параметры и их обозначения:

— P — опорное облако точек (целевое), представленное множеством точек $P = \{p_i\}_{i=1}^{N_P}$, где $p_i \in R^3$ — координата i-й точки, а N_p — общее количество точек в опорном облаке;
— Q — входное облако точек (исходное), представленное множеством точек $Q = \{q_j\}_{j=1}^{N_Q}$, где $q_j \in \mathrm{R}^3$ — координата j-й точки, а N_Q — общее количество точек в исходном облаке;
— ε — порог сходимости, определяющий критерий остановки алгоритма на основе изменения функции ошибки;
— $t_{\max}$ — максимальное количество повторений алгоритма.
— T_0— начальное преобразование (используется вариативно), представляющее собой первичную оценку от выравнивания облаков точек;
— T^* — оптимальное преобразование, состоящее из матрицы вращения R и вектора трансляции t, минимизирующее расстояние между соответствующими точками в облаках точек P и Q.

Старт алгоритма начинается с его инициализации, которая начинается с установки начального преобразование T к равным T_0 (если используется), в обратном случае установить T равным единичной матрице. Затем следует инициализировать счетчик итераций k значением 0. Далее следует перейти к самому процессу, а именно к повторению шагов, указанные ниже, пока $k < t_{\max}$.После, начинается нахождение соответствий для каждой точки $q_j \in Q$, преобразование точки $q_j^{'} = T \cdot q_j$ и нахождение ближайшей точки $p_j \in P$, минимизирующую евклидово расстояние:

$$p_j = \underset{p_i \in P}{\operatorname{argmin}} \| q_j^{'} - p_i \|^2$$

Затем идет вычисление преобразования T_{k+1} (вращение R и трансляция t), минимизирующее функцию ошибки:

$$\left[E(T) = \frac{1}{N_Q} \sum_{j=1}^{N_Q} | T \cdot q_j - p_j |^2 \right]$$

Задача минимизации решается, как правило, методом наименьших квадратов. Для вычисления матрицы вращения и вектора трансляции может быть использован алгоритм Хорна.

Так следует применить преобразование и обновить преобразование: $T \leftarrow T_k + 1$. И провести проверку сходимости, если изменение функции ошибки на текущей итерации меньше порога сходимости:

$$\Delta E = \left| E(T_{k+1}) - E(T) \right| < \epsilon$$

В таком случае алгоритм завершает работу. После идет увеличение счетчика итераций: $k \leftarrow k+1$

Следует перейти так же к объяснению некоторых технических деталей и преимуществ данного алгоритма в работе, связанных с применением данного способа для конечного понимания общих принципов работы и необходимости его дополнения к основной формуле. Во-первых, выбор алгоритма регистрации ICP является одним из наиболее распространенных алгоритмов регистрации, но существуют и другие, более продвинутые алгоритмы, такие как Feature-based регистрация, Normal Distributions Transform (NDT), или Variational ICP, которые могут быть подходящими в зависимости от характеристик данных сканирования (например, наличие текстуры, количество шумов, степень перекрытия между сканами). Во-вторых, более полные и точные данные о геометрии объекта, получаемые после регистрации, позволяют Ditto более точно реконструировать 3D-модель. Так же применение данного алгоритма представляет более точное представление геометрии частей объекта способствует более надежной оценке параметров сочленения. Способствует автоматизация процесса регистрации позволяет сократить необходимость в ручной обработке данных сканирования, что упрощает и ускоряет процесс создания цифровых двойников.

ЛИТЕРАТУРА

1. 3D ML. Часть 6: Обзор алгоритмов семантической сегментации облака точек [Электронный ресурс]. URL: https://habr.com/ru/companies/itmai/articles/534036/ (дата обращения: 01.03.2025).
2. Charles R.Qi., Li Yi., Hao Su., Leonidas J. Guibas. PointNet++: Deep Hierarchical Feature Learning on Point Sets in a Metric Space // 2017.
3. Xiaolong Li., He Wang, Li Yi., Leonidas Guibas, A. Lynn Abbott, Shuran Song. Category-Level Articulated Object Pose Estimation // 2019.
4. Jiapeng Tang, Jiabao Lei, Dan Xu, Feiying Ma, Kui Jia, Lei Zhang. SA-ConvONet: Sign-Agnostic Optimization of Convolutional Occupancy Networks // 2021.
5. Трехмерное распознавание: текущее состояние и тенденции // Автоматика и телемеханика. 2022. № 4
6. Songyou Peng, Michael Niemeyer, Lars Mescheder, Marc Pollefeys, Andreas Geiger. Convolutional Occupancy Networks // 2020.
7. Шелковников Евгений Юрьевич, Шляхтин Константин Алексеевич, Шелковникова Татьяна Евгеньевна, Егоров Станислав Феликсович применение нейронной сети архитектуры U-Net для сегментации СТМ-изображений // Химическая физика и мезоскопия. 2019. №2. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-nei-ronnoi-seti-arhitektury-u-net-dlya-segmentatsii-stm-izobrazhenii (дата обращения: 02.03.2025).

8. Pete Florence, Corey Lynch, Andy Zeng, Oscar Ramirez, Ayzaan Wahid, Laura Downs, Adrian Wong, Johnny Lee, Igor Mordatch, Jonathan Tompson. Implicit Behavioral Cloning // 2021.
9. Zhenyu Jiang, Yifeng Zhu, Maxwell Svetlik, Kuan Fang, Yuke Zhu. Synergies Between Affordance and Geometry: 6-DoF Grasp Detection via Implicit Representations // 2021.
10. Lars Mescheder, Michael Oechsle, Michael Niemeyer, Sebastian Nowozin. Occupancy Networks: Learning 3D Reconstruction in Function Space Long Beach, CA, USA: IEEE, 2019.C. 4455–4465.
11. Xiaolong Li, He Wang, Li Yi, Leonidas J Guibas, A Lynn Abbott, and Shuran Song. Category-level articulated object pose estimation. In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 3706–3715, 2020
12. Jiang Z., Hsu C.-C., Zhu Y. Ditto: Building Digital Twins of Articulated Objects from Interaction // 2022.
13. Якимчук А.В. Разработка системы технического зрения для определения позиции и ориентации объекта на основе 3D-модели // StudNet. 2020. №10. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-sistemy-tehnicheskogo-zreniya-dlya-opredeleniya-pozitsii-i-orientatsii-obekta-na-osnove-3d-modeli (дата обращения: 01.03.2025).

© Тимаков Кирилл Александрович (Tim1997.10@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.40

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

DESIGNING AN INFORMATION SYSTEM FOR THE IMPLEMENTATION OF DECISION-MAKING PROBLEMS USING FUZZY LOGIC METHODS

N. Toichkin

Summary. The article presents a project aimed at developing an information system that facilitates work with fuzzy logic libraries, in particular Fuzzy Logic Sharp. The implemented client-server information system assumes the possibility of joint work on projects representing user decision-making models in various fields, their remote storage and access to data, as well as sending notifications to users. The design of software architecture is implemented using the MVVM pattern.

Keywords: decision making, fuzzy logic, soft computing, client-server system, MVVM pattern.

Тоичкин Николай Александрович
кандидат технических наук, доцент,
Мурманский арктический университет, г. Апатиты
toichkin@list.ru

Аннотация. В статье представлен проект, направленный на разработку информационной системы, облегчающей работу с библиотеками нечеткой логики, в частности Fuzzy Logic Sharp. Реализуемая клиент-серверная информационная система, предполагает возможность совместной работы над проектами, представляющими пользовательские модели принятия решений в различных областях, их удаленное хранение и доступ к данным, а также рассылки уведомлений пользователям. Проектирование программной архитектуры реализуется при помощи паттерна MVVM.

Ключевые слова: принятие решений, нечеткая логика, мягкие вычисления, клиент-серверная система, паттерн MVVM.

Введение

В общем смысле теория принятия оптимальных решений — это набор математических и численных методов, которые ориентированы на нахождение наилучших вариантов из множества возможных альтернатив. В идеальном сценарии принятие решений опирается на всеобъемлющую и необходимую информацию об объекте управления. Однако в реальности лица, принимающие решения, часто не имеют полных и точных данных об определенных факторах, которые могут существенно влиять на процесс выбора из множества альтернатив. Так как каждая ситуация, связанная с принятием решений, может подвергаться влиянию такого фактора, как неопределенность, которая относится к состоянию, когда точная вероятность различных параметров не может быть определена. Работа с неопределенностью является одним из самых сложных аспектов процесса принятия решений. Рассматриваемая проблема, а также потенциальные варианты выбора, как правило, неоднозначны, а имеющаяся информация по объекту неполна или полностью отсутствует. Принятие решений в условиях неопределенности, как правило, осуществляется с помощью следующих критериев: Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица, MaxiMax (табл. 1).

Таблица 1.
Формулы нахождения оптимального решения

Критерий	Формула
Критерий Лапласа	$X = \max\left(\frac{\sum_{j=1}^{M} x_{ij}}{M}\right),\ i = 1.N$
Критерий Вальда	$X = \max(\min(x_{ij})), i = 1.N, j = 1.M$
Критерий Сэвиджа	$X = \min(\max(x_j - x_{ij})), i = 1.N, j = 1.M$
Критерий Гурвица	$X = \lambda \max(x_{ij}) + (1 - \lambda) \min(x_{ij}), i = 1.N, j = 1.M$
Критерий MaxiMax	$X = \max(\max(x_{ij})), i = 1.N, j = 1.M$

Главное различие между этими критериями определяется стратегией лица, принимающего решение [1]. Несмотря на разнообразие критериев, все они работают по одному принципу. Каждой альтернативе устанавливается соответствующая количественная оценка для каждой ситуации, а затем на основе сопоставления этих оценок происходит выбор оптимального решения. Совокупность оценок всех альтернатив по каждой из ситуации называется матрицей решений (матрица потерь, рисков, выигрышей, проигрышей).

Математическая теория нечетких множеств или, иными словами, Fuzzy Sets, а также нечеткая логика (Fuzzy Logic) — это обобщения классической теории множеств и классической формальной логики. Эти понятия были впервые предложены американским ученым Лотфи Заде (Lotfi Zadeh) [1]. Основной причиной появления этой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при объяснении человеком процессов, систем, объектов.

Основные проблемы, решаемые в нечетком моделировании, связаны с моделированием интеллектуальных операций приближенных рассуждений человека. Согласно теореме о нечеткой аппроксимации, любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике [2]. Другими словами, с помощью естественно-языковых высказываний «ЕСЛИ-ТО», с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, можно сколько угодно точно описать произвольную взаимосвязь «входы-выход» без использования сложного аппарата дифференциального и интегрального исчислений, традиционно применяемого в управлении и идентификации.

Важной характеристикой нечеткой логики является то, что любая теория T может быть фаззифицирована (fuzzified) и, следовательно, обобщена путем замены понятия четкого множества в T понятием нечеткого множества. Таким способом можно прийти к нечеткой арифметике, нечеткой топологии, нечеткой теории вероятностей, нечеткому управлению, нечеткому анализу решений. Выигрышем от фаззификации является большая общность и лучшее соответствие модели действительности. Однако с нечеткими числами труднее оперировать, чем с четкими числами. Более того, значения большинства нечетких понятий зависят от контекста и/или приложения [3]. Рассмотрим нечеткий вывод на примере механизма Мамдани (Mamdani). Это наиболее распространенный способ логического вывода в нечетких системах, в котором используется минимаксная композиция нечетких множеств. Данный механизм включает в себя последовательность действий, приведенную на схеме ниже (рис. 1).

Проектирование информационной системы

Общую архитектуру информационной системы можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 2.

Основная система состоит из трех подсистем: база данных, хранящаяся на сервере, арендованный удаленный сервер и приложение, отвечающее за бизнес-логику сервера, и клиентское desktop-приложение, позволяющее пользователю работать с алгоритмами принятия решений и нечеткой логикой, а также сохранением данных о проекте на сервере и в базе данных.

Общую структуру классов можно представить в виде UML диаграммы (рис. 3).

Рис. 1. Общая схема логического нечеткого вывода

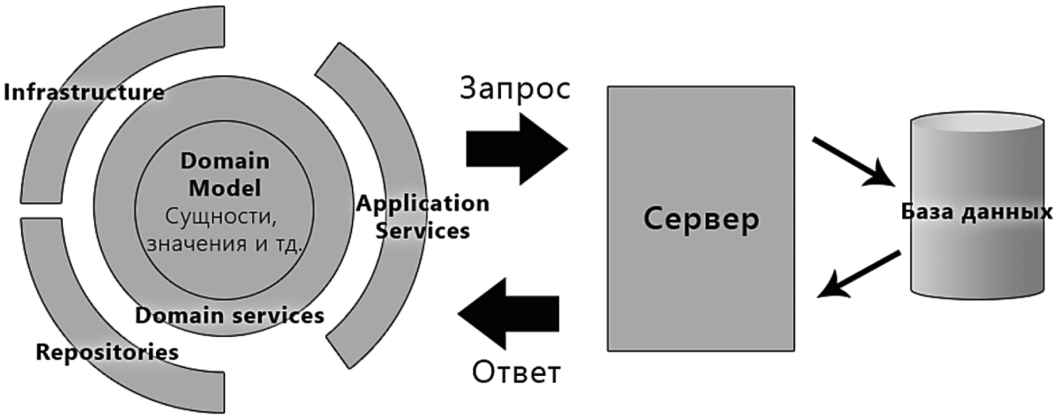


Рис. 2. Общая архитектура информационной системы

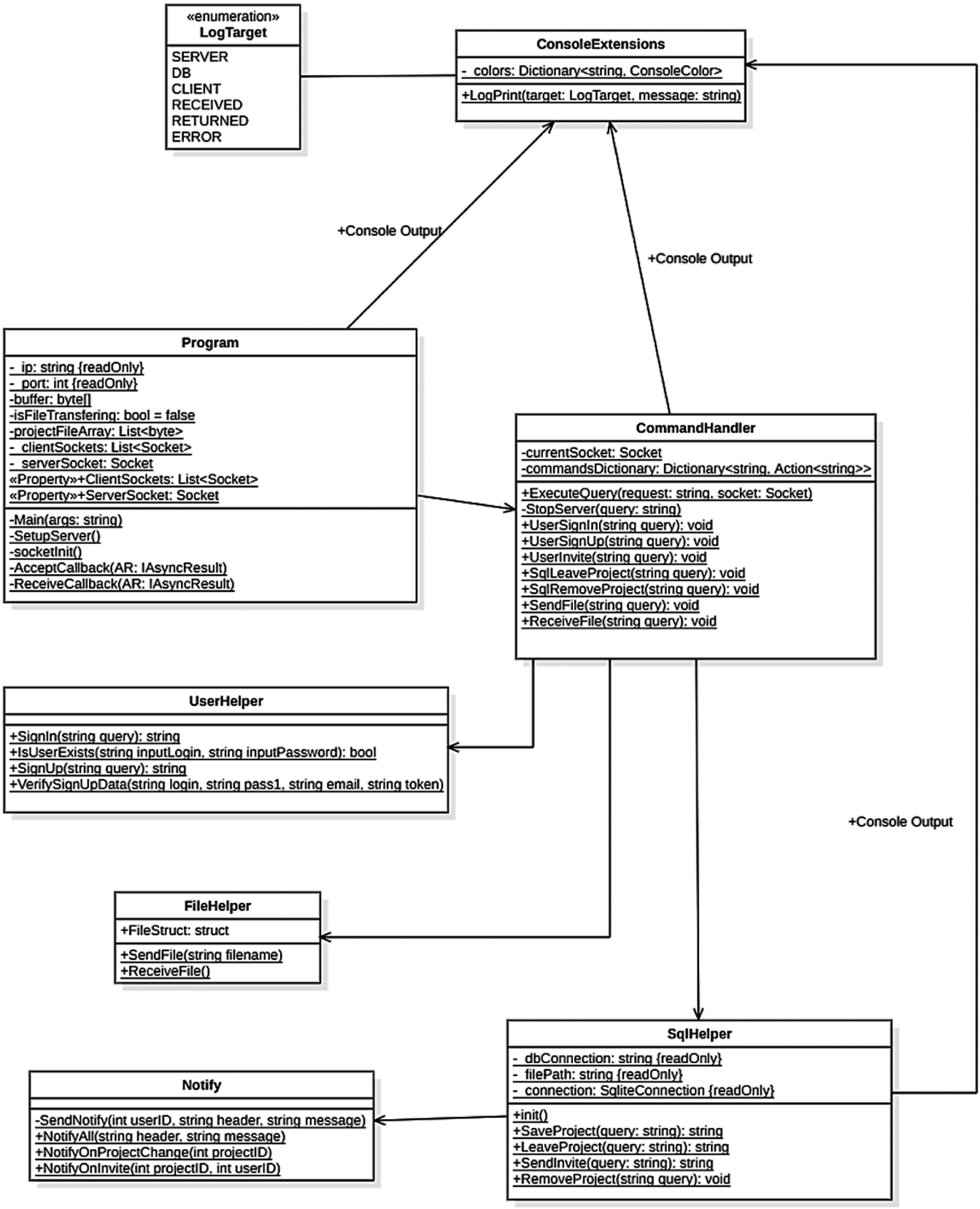


Рис. 3. Диаграмма классов серверного приложения

Сервер осуществляет логику взаимодействия с базой данных, авторизации/регистрации пользователей, рассылки уведомлений и выдачи клиенту необходимой информации в зависимости от запроса. На диаграмме помимо основного класса Program объявлено еще несколько классов, каждый из которых отрабатывает определенную логику работы серверной программы. Например, CommandHandler обрабатывает все входящие запросы и в зависимости от запроса, будь то команда серверу или SQL запрос, вызывает соответствующий команде метод в том или ином классе. А класс UserHelper отвечает за работу с авторизацией и регистрацией пользователей в системе.

База данных системы хранит информацию о пользователях, и их настройках, а также пути к пользовательским файлам, содержащим информацию о моделях и проектах, используемым при решении задач принятия решений.

Сама база хранится локально на сервере. В базе данных представлено 4 таблицы: пользователи, проекты, сводная таблица пользователь-проект и таблица шаблонов проектов (рис. 4).

Задачей клиентского приложения является удобное интерактивное взаимодействие с моделями принятия решений, в том числе и принятия решений на основе нечеткой логики. Расположение этого аппарата на клиентской стороне позволяет работать пользователю в режиме offline и не быть постоянно зависимым от подключения к серверу. Также, задачами клиента являются: сохранение и загрузка проектов — как локальных, так и проектов с сервера, формирование запросов серверу и обработка полученных ответов.

Клиентское приложение представляет собой desktop-приложение, реализующее архитектурный паттерн MVVM [4] (рис. 5).

Пользовательский интерфейс посредством технологии связывания данных (binding) использует данные из класса ViewModel.

В статическом классе ViewModel есть экземпляр класса MainWindowViewModel, который представляет сущность проекта, над которым работает пользователь. Также, в классе ViewModel находится экземпляр класса UserData, в котором хранятся данные о пользователе, в том числе списки последних открытых проектов и проектов, хранящихся на сервере, представленных в виде коллекции объектов ProjAttributes.

В классе MainWindowViewModel определены поля и свойства, отражающие данные о проекте, а также экземпляр класса FuzzyHelper, отвечающий за работу с библиотекой нечеткой логики Fuzzy Logic Sharp.

Классы MainWindowViewModel и UserData наследуются от универсального класса json, для реализации возможности сериализации проекта и данных пользователя в cache-файл.

Класс Alternatives представляет коллекцию сущностей Alternative, для создания матриц решений и реализует стандартные методы управления коллекцией.

Класс Situations представляет сущность ситуации, необходимой для формирования матрицы решений и представляет собой коллекцию объектов Situation, и также реализует методы по управлению коллекцией.

Класс DecisionHelper осуществляет прогон матрицы решений по нескольким критериям и в качестве результата выводит пользователю самую часто встречающуюся в результатах вычислений по критериям альтернативу.

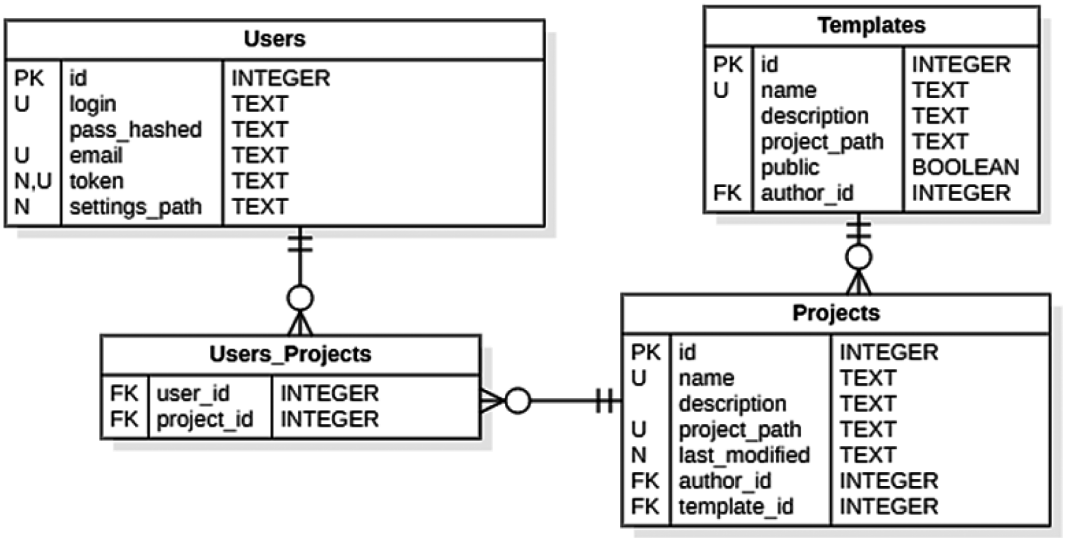


Рис. 4. Структура и связи таблиц базы данных

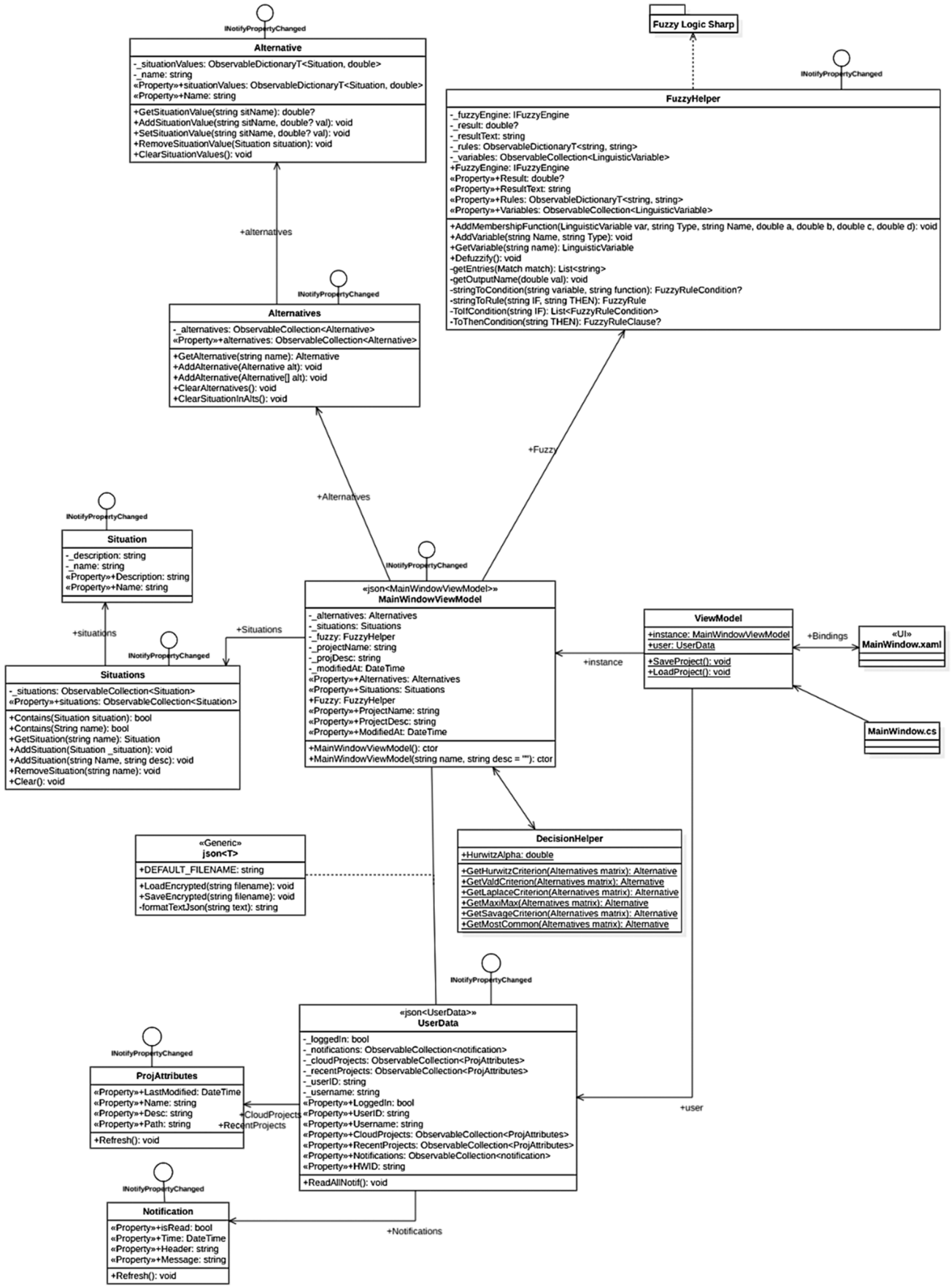


Рис. 5. Диаграмма классов клиентского приложения

Класс MainWindow.cs отвечает за логику управления окном.

Все классы, за исключением MainWindow.cs, а также коллекции и словари реализуют интерфейс INotifyPropertyChanged, используемый для уведомления клиентов об изменениях значений свойств. За счет чего достигается наиболее стабильная и удобная реализация паттерна MVVM.

Заключение

Достоинством подхода к принятию решений с помощью нечеткой логики является его близость к естественному языку, что позволяет пользователю формализовать свои нечеткие представления, приведя их в язык количественных оценок. Разрабатываемая в рамках данного проекта информационная система позволит разрешать неопределённость выбора, в различных предметных областях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машунин К.Ю. Моделирование технических систем в условиях неопределенности и принятие оптимального решения / К.Ю. Машунин, Ю.К. Машунин // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. — 2013. — № 4. — С. 19.
2. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. и др. Принятие решений на основе нечетких моделей. Рига: / «Зинатне». — 1990. — 184 С.
3. Тоичкин Н.А. Создание программного интерфейса для поддержки решения исследовательских задач в области мягких вычислений с использованием библиотеки Phyton Scikit-fuzzy / Н.А. Тоичкин, В.Н. Богатиков // Мягкие измерения и вычисления. — 2021. — Т. 43. — № 6. — С. 61–80.
4. MVVM: полное понимание (+WPF) Часть 1 // Habr URL: https://habr.com/ru/articles/338518/ (дата обращения: 30.11.2024).

© Тоичкин Николай Александрович (toichkin@list.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.42

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ АНАЛИЗЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СЛЕДОВ В КРИМИНАЛИСТИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

Уманцева Ольга Олеговна
Академия управления МВД России
umanceva12xdr@gmail.com

Аннотация. Статья посвящена анализу проблем автоматизации экспертной деятельности при исследовании биологических следов в криминалистике. Актуальность темы обусловлена растущей потребностью в ускорении и повышении точности криминалистических экспертиз в условиях увеличения числа преступлений. Цель исследования — выявить ключевые барьеры для внедрения автоматизированных систем в практику анализа биологических следов и определить возможные пути их преодоления. В работе использованы методы системного анализа, экспертного опроса, статистической обработки данных. Эмпирическую базу составили результаты опроса 150 экспертов-криминалистов из 20 регионов России. Установлено, что основными препятствиями для автоматизации являются: недостаточная формализация экспертных знаний (87 % респондентов), дефицит валидированного программного обеспечения (73 %), проблемы интеграции разнородных данных (69 %). Предложены меры по стандартизации экспертных процедур, разработке специализированных программных комплексов и созданию единой информационной среды криминалистических лабораторий. Полученные результаты имеют значение для оптимизации экспертной деятельности и могут быть использованы при создании систем поддержки принятия решений в криминалистике. Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой онтологических моделей представления экспертных знаний и алгоритмов интеллектуального анализа криминалистических данных.

Ключевые слова: криминалистика, биологические следы, автоматизация экспертизы, экспертные системы, анализ данных, онтологии.

PROBLEMS OF AUTOMATING EXPERT ACTIVITIES IN THE ANALYSIS OF BIOLOGICAL TRACES IN FORENSIC PRACTICE

O. Umantseva

Summary. The article is devoted to analyzing the problems of automating expert activities in the investigation of biological traces in forensic science. The relevance of the topic is due to the growing need to accelerate and increase the accuracy of forensic examinations in the context of a rising number of crimes. The aim of the study is to identify the key barriers to implementing automated systems in the practice of analyzing biological traces and to determine possible ways to overcome them. The work utilizes methods of systems analysis, expert surveys, and statistical data processing. The empirical basis consists of the results of a survey of 150 forensic experts from 20 regions of Russia. It was found that the main obstacles to automation are insufficient formalization of expert knowledge (87 % of respondents), a deficit of validated software (73 %), and problems integrating heterogeneous data (69 %). Measures have been proposed to standardize expert procedures, develop specialized software suites, and create a unified information environment for forensic laboratories. The obtained results are significant for optimizing expert activities and can be used in the creation of decision support systems in forensic science. Prospects for further research are related to the development of ontological models for representing expert knowledge and algorithms for the intelligent analysis of forensic data.

Keywords: forensics, biological traces, automation of examination, expert systems, data analysis, ontologies.

Введение

Проблема автоматизации экспертной деятельности при анализе биологических следов в криминалистической практике привлекает растущее внимание исследователей. Потребность в ускорении и повышении точности судебно-биологических экспертиз диктуется увеличением числа преступлений против личности, многие из которых совершаются в условиях неочевидности [1, с. 464]. По данным МВД России, в 2022 году количество таких преступлений выросло на 5,3 % по сравнению с предыдущим годом [2, с. 288]. При этом раскрываемость преступлений этой категории остается невысокой — в среднем около 70 % [3, с. 159]. Современный уровень развития информационных технологий открывает новые возможности для автоматизации различных видов экспертной деятельности, в том числе в криминалистике [4, с. 160]. Внедрение автоматизированных систем в практику анализа вещественных доказательств биологического происхождения позволило бы существенно сократить сроки производства экспертиз, снизить влияние субъективных факторов, обеспечить верифицируемость полученных результатов [5, с. 576]. Однако в настоящее время масштабы и эффективность использования подобных систем в экспертных криминалистических подразделениях остаются недостаточными. Анализ научных публикаций последних лет свидетельствует о растущем интересе к данной проблематике. Подавляющее большинство исследователей констатируют необходимость автоматизации отдельных этапов крими-

налистического исследования биологических следов — обнаружения, фиксации, предварительного анализа, выдвижения экспертных версий [6, с. 119]. Отмечается, что существующие экспертные методики характеризуются высокой степенью субъективности, недостаточной воспроизводимостью результатов, отсутствием четких количественных критериев оценки [7, с. 254]. При этом до настоящего времени отсутствуют общепризнанные унифицированные протоколы анализа вещественных доказательств биологической природы, единая терминологическая база, стандарты оформления экспертных заключений [8, с. 72]. Ряд авторов предлагают собственные подходы к формализации экспертных знаний в области исследования биологических следов. Так, в работе [9, с. 168] описана онтологическая модель представления знаний об объектах судебно-биологической экспертизы, которая позволяет структурировать и унифицировать данные о различных классах биологических следов, методах их обнаружения и исследования, решаемых экспертных задачах. В статье [10, с. 184] представлена концепция экспертной системы, основанной на многоуровневой базе знаний и предназначенной для автоматизации процесса установления таксономической принадлежности биологических объектов. В то же время многие ключевые вопросы, связанные с разработкой и внедрением средств автоматизации в практику криминалистического исследования биологических следов, остаются нерешенными. Неясно, какие конкретно экспертные функции целесообразно автоматизировать в первую очередь, каковы необходимые объемы обучающих выборок для создания эффективных программных комплексов, как обеспечить коммуникацию между модулями экспертной системы, работающими с разнородными данными. Не определены и нормативно-методические основы внедрения автоматизированных рабочих мест эксперта-криминалиста биолого-криминалистического профиля. Представляется, что успешная автоматизация экспертной деятельности невозможна без тщательного изучения реальных потребностей и проблем, с которыми сталкиваются эксперты-практики. Необходимы эмпирические исследования, позволяющие определить сдерживающие факторы и пути их преодоления. Полученные результаты должны быть положены в основу разработки специализированных программных средств, предназначенных для анализа биологических следов в криминалистических целях. При этом архитектура соответствующих информационных систем и алгоритмы их функционирования должны учитывать специфику работы с объектами биологического происхождения и ориентироваться на решение конкретных экспертных задач.

Методы

Для достижения поставленной цели исследование опиралось на комплекс взаимодополняющих методов. На первом этапе был проведен системный анализ современной научной литературы, нормативно-правовых актов, методических документов в области криминалистического исследования биологических следов. Это позволило определить текущее состояние проблемы, выявить нерешенные теоретические и практические вопросы. При анализе использовались как отечественные, так и зарубежные источники, индексируемые в международных базах данных Scopus, Web of Science, РИНЦ.

Далее на основе результатов теоретического анализа была разработана программа эмпирического исследования, включавшего экспертный опрос и статистический анализ полученных данных. Для проведения опроса была сформирована выборка, в которую вошли 150 экспертов-криминалистов биолого-криминалистического профиля из 20 регионов России. Все респонденты имели высшее профильное образование и стаж экспертной работы не менее 5 лет. Опрос проводился методом анкетирования, на условиях анонимности. Анкета содержала 25 вопросов закрытого и открытого типа, ориентированных на выявление проблем, препятствующих автоматизации исследования биологических следов, и возможных путей их решения.

Первичная обработка данных опроса выполнялась в программе Microsoft Excel. Вычислялись абсолютные и относительные показатели, в том числе доли и средние значения. Статистический анализ проводился в программе SPSS 23.0 и включал расчет описательных статистик, оценку значимости различий и связей между переменными. В частности, применялись критерии хи-квадрат Пирсона и U Манна-Уитни, коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Для всех статистических критериев был принят уровень значимости $p \leq 0{,}05$.

Полученные количественные данные были дополнены качественным анализом ответов на открытые вопросы анкеты. Осуществлялось кодирование ответов, их группировка по смысловым блокам, обобщение и интерпретация. При цитировании сохранялась оригинальная лексика и стиль высказываний респондентов.

Совокупность использованных научных методов обеспечила достаточный уровень валидности и надежности полученных результатов. Выборка исследования репрезентативна по своему объему и структуре, отражает основные характеристики генеральной совокупности экспертов-криминалистов биологического профиля. При анализе данных применялись адекватные математико-статистические процедуры, соответствующие типу измерительных шкал и распределению признаков. Качественный анализ позволил учесть нюансы и глубинные аспекты изучаемой проблемы, обычно ускользающие при формализованном подходе.

Результаты исследования

Проведенный экспертный опрос позволил получить целостную картину факторов, препятствующих эффективной автоматизации криминалистического исследования биологических следов в экспертных подразделениях Российской Федерации. Количественный и качественный анализ ответов респондентов выявил ряд ключевых проблем методологического, технологического, информационного и организационного характера.

Как показано в таблице 1, большинство опрошенных экспертов (87,3 %) указали на недостаточную формализацию специальных знаний как основной сдерживающий фактор цифровизации экспертной деятельности. Действительно, исследование биологических следов предполагает использование обширного комплекса методов, сочетание качественного и количественного анализа, учет множества разнородных признаков и их вариаций. При этом в данной области пока не сформирован консенсусный понятийный аппарат, не выработаны унифицированные алгоритмы решения экспертных задач, отсутствуют универсальные протоколы экспертных действий. В большинстве случаев эксперт опирается на собственный опыт и эвристические соображения, что неизбежно повышает субъективность выводов и затрудняет их формализацию в программном коде.

Таблица 1.

Оценка экспертами проблем автоматизации криминалистического исследования биологических следов

Проблема	Доля респондентов, %
Недостаточная формализация экспертных знаний	87,3
Дефицит валидированного программного обеспечения	73,3
Проблемы интеграции разнородных данных	69,3
Недостаточная стандартизация методов и процедур	65,3
Отсутствие централизованных информационных ресурсов	62,7
Дефицит квалифицированных IT-специалистов в лабораториях	58,0
Недостаточное ресурсное обеспечение	52,7
Низкий уровень цифровой компетентности экспертов	46,7

Вторая по значимости проблема, отмеченная 73,3 % респондентов — дефицит апробированных программных средств, ориентированных на решение конкретных задач исследования вещественных доказательств биологического происхождения. Подавляющее большинство программных комплексов, представленных сегодня на рынке, носят узкоспециализированный характер, направлены на автоматизацию отдельных стадий экспертного исследования (например, только обнаружение и фиксацию следов, или только предварительные исследования). При этом функциональные возможности таких систем ограничены определенными видами объектов и методов анализа. Так, широко применяемые в экспертной практике системы для ДНК-анализа (Applied Biosystems, Promega) не предназначены для работы с другими классами биологических следов, например, волосами, костными останками, пятнами крови и т.д. Валидация и сертификация программного обеспечения в соответствии с требованиями к экспертным методикам — длительная и затратная процедура, которую прошли лишь единичные программные продукты.

Почти 70 % опрошенных экспертов отметили сложность интеграции данных, полученных в результате применения разных инструментальных методов анализа, как значимую проблему на пути автоматизации экспертной деятельности. В современных условиях исследование одного и того же биологического следа может предполагать последовательное или параллельное использование методов оптической и электронной микроскопии, спектроскопии, хроматографии, ПЦР-анализа, секвенирования и т.д. Полученные первичные данные кардинально различаются по формату и объему. Так, типичное микроскопическое исследование волоса дает словесное описание 5–7 морфологических признаков и их фотоизображения. В то же время ДНК-анализ того же объекта может включать электрофореграммы по 9–11 генетическим локусам и цифровые значения относительных высот пиков. Сведение таких разнородных массивов данных в единую базу, обеспечение их пригодности для автоматизированного анализа — чрезвычайно трудоемкая задача, требующая высокого уровня стандартизации экспертных процедур и форматов данных.

Именно недостаточная стандартизация исследовательских методов и процедур в области анализа биологических следов была названа 65,3 % респондентов в качестве препятствия для разработки и внедрения автоматизированных технологий. Как показано в таблице 2, подавляющее большинство опрошенных экспертов (свыше 90 %) в той или иной степени используют методы биологического анализа, регламентированные ведомственными методическими документами МВД России и Минюста России. Однако содержание и степень детализации этих документов существенно различаются. Так, действующие методические указания по ДНК-анализу определяют только общую последовательность экспертных действий и применяемые методы, оставляя широкий простор для индивидуальных вариаций в части пробоподготовки, параметров амплификации и электрофореза, систем генетических маркеров, панелей и наборов реагентов. В таблице 3 приводятся данные о вариатив-

ности региональных практик ДНК-фенотипирования, где разброс применяемых панелей маркеров достигает 5 раз. Очевидно, что подобная несогласованность затрудняет сопоставимость и интегрируемость получаемых экспертных данных.

Таблица 2.

Использование экспертами стандартизированных методов исследования биологических следов

Уровень использования	Доля респондентов, %
Используют все регламентированные методы	34,7
Используют большинство методов	58,7
Используют отдельные методы	6,0
Не используют регламентированные методы	0,7

Таблица 3.

Вариативность региональных практик ДНК-фенотипирования

Число маркеров в панели	Доля регионов, %
5–10	15,0
11–20	55,0
21–30	20,0
31–40	5,0
41–50	5,0

Централизованные информационно-справочные ресурсы, обеспечивающие единое информационное пространство в сфере криминалистического исследования биологических следов, также пока отсутствуют, что было отмечено 62,7 % опрошенных. Существующие базы данных генетических, дактилоскопических, одорологических следов функционируют автономно, в основном на региональном уровне. Так, по данным ЭКЦ МВД России, в 2022 г. в федеральной базе данных ДНК-профилей было зарегистрировано только 58 % профилей, выделенных экспертными подразделениями субъектов федерации. Сравнительные коллекции биологических образцов, массивы экспериментальных данных, библиотеки стандартных экспертных решений, сформированные отдельными лабораториями, как правило, недоступны для всего профессионального сообщества. Более 90 % экспертных подразделений работают со своими локальными информационными ресурсами, объем и качество которых варьируют в широких пределах.

Важной проблемой, затрудняющей переход к автоматизированным технологиям экспертного исследования, является дефицит квалифицированных IT-кадров, обладающих одновременно компетенциями в программной инженерии и предметной области исследования биологических следов. На это указали 58 % респондентов. Как показано в таблице 4, лишь в 8 % экспертных лабораторий в штате есть профильные IT-специалисты. В остальных случаях разработка и адаптация программных средств ведется либо самими экспертами (32 %), либо внешними организациями на договорной основе (60 %). При этом, по оценкам респондентов, уровень компетентности привлекаемых программистов в специфике криминалистических биологических исследований, как правило, недостаточен. Почти половина опрошенных (46,7 %) констатировали низкий уровень собственной цифровой грамотности и потребность в специальной подготовке для эффективного использования автоматизированных систем.

Таблица 4.

Разработка программных средств для автоматизации исследования биологических следов

Разработчик	Доля лабораторий, %
Собственные IT-специалисты	8,0
Сами эксперты лаборатории	32,0
Внешние организации по договорам	60,0

Недостаточное ресурсное обеспечение процессов цифровизации экспертной деятельности отметили 52,7 % респондентов. Приобретение современного аналитического оборудования, программно-аппаратных комплексов, обновление парка компьютерной техники, регулярная переподготовка специалистов для работы с новыми технологиями требуют существенных финансовых затрат. По экспертным оценкам, стоимость полного цикла разработки и внедрения автоматизированной системы для решения комплекса экспертных задач в области исследования биологических следов может составлять от 1,5 до 4 млн руб. на одну лабораторию. Очевидно, что в условиях органиченного бюджетного финансирования большинство региональных экспертных подразделений не располагают такими средствами. Как показал опрос, только 20 % лабораторий имеют опыт реализации целевых программ информатизации, согласованных с вышестоящими органами и подкрепленных необходимыми ресурсами.

Таким образом, проведенное исследование показало, что в настоящее время процесс автоматизации криминалистической экспертизы биологических следов в Российской Федерации находится на начальной стадии и сталкивается с целым комплексом объективных трудностей. Недостаточная формализация и стандартизация экспертных знаний и процедур, несовершенство инструментальной и программной базы, дефицит квалифицированных кадров и финансовых ресурсов — все эти факторы существенно тормозят внедрение современных информационных технологий в экспертную практику. Вместе с тем прогрессивное развитие методов

и средств работы с биологическими следами объективно требует все более высокого уровня автоматизации экспертных лабораторий.

Разрешение выявленных проблем и реализация потенциала цифровизации в данной области предполагает проведение целенаправленной политики, направленной на:

- последовательную формализацию экспертных знаний и алгоритмизацию исследовательских процедур путем разработки межведомственных стандартов;
- создание универсальных инструментально-программных комплексов для решения типовых комплексных экспертных задач;
- формирование интегрированных информационных ресурсов (баз данных и знаний, каталогов объектов и методов, библиотек решений);
- целевую подготовку и переподготовку экспертов за счет включения в программы повышения квалификации блоков по информационным технологиям;
- усиление взаимодействия экспертных лабораторий с научно-техническими организациями и IT-компаниями для проведения совместных исследований и разработок.

Важнейшим концептуальным условием успешной цифровой трансформации в рассматриваемой области должна стать последовательная ориентация создаваемых программных средств на конечного пользователя — эксперта-криминалиста с учетом реального уровня его цифровой компетентности и потребностями практики. Автоматизация не должна превращаться в самоцель, а призвана реально упрощать, ускорять и удешевлять экспертную работу, способствуя повышению ее научной обоснованности, объективности и верифицируемости. Только при таком подходе цифровые инновации в криминалистической экспертизе будут действительно востребованы и органично интегрированы в сложившуюся систему экспертной деятельности.

Полученные данные позволяют констатировать, что магистральным направлением преодоления выявленных барьеров на пути цифровизации криминалистических биологических исследований должна стать разработка и реализация целостной программы научно-технологического развития судебно-экспертных учреждений. Такая программа призвана обеспечить консолидацию интеллектуальных, материальных и организационных ресурсов экспертного сообщества для решения приоритетных задач автоматизации. В качестве ключевых мероприятий программы могут быть предложены: организация ведомственных центров компетенций в области цифровой криминалистики, формирование исследовательских консорциумов с участием научных институтов и высокотехнологичных компаний, внедрение инновационных образовательных модулей в систему подготовки экспертных кадров, создание специализированных венчурных фондов для финансирования перспективных разработок. Только комплексный подход, интегрирующий науку, практику и профильный бизнес, способен обеспечить необходимый синергетический эффект и вывести цифровую трансформацию криминалистической экспертизы на качественно новый уровень.

Заключение

Резюме результатов:

1. 87,3 % экспертов отметили недостаточную формализацию знаний как главный барьер автоматизации.
2. 73,3 % указали на дефицит валидированного ПО для решения экспертных задач.
3. 69,3 % обозначили проблему интеграции разнородных данных биоанализа.
4. 65,3 % констатировали недостаточную стандартизацию методов и процедур.
5. У 62,7 % отсутствуют централизованные базы данных и библиотеки решений.
6. 58 % лабораторий испытывают нехватку профильных IT-специалистов.
7. 52,7 % отметили недостаточное ресурсное обеспечение цифровизации.

Таким образом, автоматизация криминалистической экспертизы биологических следов в России находится на начальной стадии. Существующие барьеры носят системный характер и требуют комплексного подхода к их преодолению. Приоритетами должны стать алгоритмизация экспертных процедур, разработка универсальных программных комплексов, интеграция информационных ресурсов, подготовка кадров, консолидация науки и бизнеса в рамках специальной программы цифровизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белкин Р.С. Курс криминалистики. В 3 т. Т. 2. Частные криминалистические теории. М.: Юристъ, 1997. 464 с.
2. Корухов Ю.Г. Криминалистическая диагностика при расследовании преступлений: Науч.-практ. пособие. М.: Норма-Инфра-М, 1998. 288 с.
3. Майлис Н.П. Введение в судебную экспертизу: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юнити-Дана, 2012. 159 с.
4. Орлова В.Ф. Судебно-почерковедческая диагностика: Учеб. пособие для студентов вузов. М.: Юнити-Дана, 2006. 160 с.
5. Россинская Е.Р. Судебная экспертиза в гражданском, арбитражном, административном и уголовном процессе: Монография. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Норма: Инфра-М, 2018. 576 с.
6. Самищенко С.С. Современная дактилоскопия: проблемы и тенденции развития: Учеб. пособие. М.: Моск. ун-т МВД России, 2003. 119 с.
7. Сегай М.Я. Методология судебной идентификации. Киев: Рио МВД УССР, 1970. 254 с.
8. Снетков В.А. Основы деятельности специалиста экспертно-криминалистических подразделений органов внутренних дел: Учеб. пособие. М.: ЭКЦ МВД России, 2001. 72 с.
9. Шляхов А.Р. Судебная экспертиза: Организация и проведение. М.: Юрид. лит., 1979. 168 с.
10. Эджубов Л.Г. Статистическая дактилоскопия: Методические проблемы. М.: Городец, 1999. 184 с.
11. Эксархопуло А.А. Криминалистическая техника: Учебник. СПб.: Лема, 2012. 342 с.
12. Яблоков Н.П. Криминалистика: Учебник для студентов вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Юристъ, 2005. 781 с.
13. Aitken C., Taroni F. Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists. 2nd ed. Chichester: Wiley, 2004. 540 p.
14. Bodziak W.J. Footwear Impression Evidence: Detection, Recovery, and Examination. 2nd ed. CRC Press, 2000. 528 p.
15. Robertson B., Vignaux G.A. Interpreting Evidence: Evaluating Forensic Science in the Courtroom. Chichester: Wiley, 1995. 216 p.

© Уманцева Ольга Олеговна (umanceva12xdr@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.45

МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ПРИМЕРЕ ВАЛЮТНЫХ КОТИРОВОК

TIME SERIES FORECASTING MODEL BASED ON THE EXAMPLE OF CURRENCY QUOTATIONS

M. Khabarov
V. Lovtsov
K. Tiazhelnikova
V. Gurenko

Summary. The article describes the actual task of developing a model of time series forecasting on the example of quotes of currency pairs. The peculiarities of working with time series are defined and the mathematical model of the subject area of the developed model is formulated. The process of dividing a time series into components is analyzed. The main approaches to the realization of time series forecasting model are studied, namely: statistical algorithms and machine learning. Necessary and sufficient conditions of stationarity of time series for realization of the model of statistical approach are considered. The initial data set for the development of time series forecasting model on the example of currency quotes based on the dataset «Currency rates: archival and current data on the value of foreign currencies against the ruble» was formed. A set of lag and aggregated informative features for the realization of models based on machine learning was formed. Practical experiments were conducted to analyze the behavior of the models in different situations of financial market stability. The results of each algorithm within the conducted experiments are presented, including MSE, MAE, MAPE and R2 metrics. Based on the results obtained, the optimal algorithm was selected to realize the task at hand. Also, the most informative features of this model for forecasting time series of currency quotes were determined.

Keywords: time series, machine learning, time series forecasting, forecasting approaches, quotes, currency pairs.

Хабаров Марк Эдуардович
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва
mark.khabarov@yandex.ru
Ловцов Владимир Алексеевич
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва
lovets1818@gmail.com
Тяжельникова Ксения Сергеевна
руководитель проектов, АО «ТБанк», г. Москва
kstyazhelnikova@gmail.ru
Гуренко Владимир Викторович
доцент, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва
wgurenko@bmstu.ru

Аннотация. В статье описывается актуальная задача разработки модели прогнозирования временных рядов на примере котировок валютных пар. Определены особенности работы с временными рядами и сформулирована математическая модель предметной области разработанной модели. Проанализирован процесс разделения временного ряда на компоненты. Изучены основные подходы к реализации модели прогнозирования временных рядов, а именно: статистические алгоритмы и машинное обучение. Рассмотрены необходимые и достаточные условия стационарности временного ряда для реализации модели статистического подхода. Сформирован исходный набор данных для разработки модели прогнозирования временных рядов на примере валютных котировок, основанный на датасете «Валютные курсы: архивные и текущие данные о стоимости иностранных валют по отношению к рублю». Был сформирован набор лаговых и агрегированных информативных признаков для реализации моделей на основе машинного обучения. Проведены практические эксперименты с целью анализа поведения моделей в различных ситуациях стабильности финансового рынка. Представлены результаты работы каждого алгоритма в рамках проведённых экспериментов, включающие в себя метрики MSE, MAE, MAPE и R2. На основе полученных результатов для реализации поставленной задачи был выбран оптимальный алгоритм. Также были определены наиболее информативные признаки этой модели для прогнозирования временных рядов валютных котировок.

Ключевые слова: временные ряды, машинное обучение, прогнозирование временных рядов, подходы к прогнозированию, котировки, валютные пары.

Введение

В настоящее время разработка моделей прогнозирования временных рядов является одной из ключевых задач в различных областях науки и практики, включая климатологию, здравоохранение, экономику, финансы и т.д. В условиях быстро меняющегося мира, где информация и данные становятся основными активами, способность предсказывать будущие значения на основе исторических данных приобретает особую актуальность.

Так в области экономики и финансов одной из наиболее важных задач, актуальность которой невозмож-

но переоценить, является прогнозирование валютных котировок. Эта задача стала одной их ключевых для инвесторов, трейдеров и экономистов по всему миру, ведь курсы валют не только отражают состояние экономики отдельных стран, но и влияют на международную торговлю, инвестиции и финансовую стабильность [1]. Таким образом эффективное прогнозирование изменения валютных котировок может позволить своевременно реагировать на изменения валютного рынка, являющегося одним из самых ликвидных и динамичных сегментов финансовой системы.

Модель анализа временных рядов представляет собой мощный инструмент для прогнозирования исторических данных. В случае динамики валютных котировок она позволяет учитывать исторические данные целевой валютной пары, других валютных пар, сезонные колебания и прочие факторы, оказывающие влияние на курс валюты. Используя подобную модель, становится возможным качественно оценивать финансовый рынок, а также создавать надёжные и прибыльные инвестиционные стратегии, минимизируя потенциальные убытки.

С целью создания структурированного подхода к решению задачи разработки модели прогнозирования временных рядов на примере валютных котировок необходимо сформулировать математическую модель предметной области. Определим временной ряд, как последовательность значений, отражающих динамику процесса по времени и измеренных в последовательные моменты времени через равные интервалы. Пусть последовательность действительных значений $y_0, y_1, \dots y_i$ — это временной ряд. Тогда задача построения модели прогнозирования временных рядов на примере валютных котировок будет состоять в построении функции $F_{t,d}(y_0, y_1, \dots y_t; w)$, то есть получении прогноза на момент времени $t + d$, где d — это горизонт прогнозирования, а w — вектор весов модели.

При этом для анализа временного ряда необходимо определение его компонент [3,5]:

— тренд (T) — плавное долгосрочное изменение уровня ряда;
— сезонность (S) — циклическое изменение уровня ряда с постоянным периодом;
— ошибка/шум (I) — непрогнозируемая случайная компонента ряда.

Иногда ещё выделяют циклическую компоненту (C) — изменение уровня ряда с переменным периодом. Если сезонность отражает регулярные, повторяющиеся с постоянной частотой, колебания внутри определённого периода, то циклическая компонента может иметь переменную длину и амплитуду и повторяться с нефиксированной периодичностью, например, как экономические циклы (бумы и спады).

Сам временной ряд можно разложить либо в сумму, либо в произведение своих компонент — это называется аддитивной, или, во втором случае мультипликативной моделью ряда [3, 4, 5]. В данном случае было принято решение работать с аддитивной моделью.

Материалы и методы решения задач, принятые допущения

Существует два основных подхода к реализации модели прогнозирования временных рядов [6-9]:

— статистический подход (подход на основе статистики и проверки гипотез): ARIMA, SARIMA, ARCH, GARCH и т.п.;
— машинное обучение (подход с использованием моделей, основанных на математических методах): регрессия, случайный лес, бустинг и т.п.

Принято решение исследовать экспериментально следующие алгоритмы прогнозирования временных рядов:

— модель сезонного авторегрессивного интегрированного скользящего среднего (Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average, SARIMA),
— линейная регрессия (Linear Regression, LR),
— XGBoost (классический алгоритм градиентного улучшения, обладающий основными необходимыми свойствами);
— CatBoost (алгоритм градиентного улучшения, разработанный компанией Yandex, который обладает повышенной устойчивостью к переобучению, а также простотой использования и настройки параметров);
— LightGBM (алгоритм градиентного улучшения, ориентированный на скорость и эффективность работы с большими данными за счёт алгоритма построения деревьев Histogram-based).

Для исследования алгоритма SARIMA необходимо приведение временного ряда к стационарному виду, то есть должны выполняться следующие условия [6]:

— постоянное среднее значение (Среднее значение ряда должно быть стабильным и независимым от времени. Это означает, что в разные временные моменты не должно наблюдаться четкой тенденции к увеличению или уменьшению);
— постоянная вариация (Дисперсия ряда должна быть постоянной и не зависеть от времени. Это означает, что в разные моменты времени амплитуда колебаний ряда не должна изменяться);
— некоррелированность (Корреляция между значениями ряда на различных временных интервалах должна быть минимальной или полностью отсутствовать. Это указывает на отсутствие устойчивых зависимостей или повторяющихся паттернов во времени.).

Для проверки стационарности временного ряда было принято решение использовать статистический тест «критерий Дики-Фуллера», цель которого состоит в проверке наличия единичного корня во временном ряде.

Результаты

В результате анализа выбранных алгоритмов было установлено:

— SARIMA обладает простатой реализации и является самым распространённым подходом с наибольшей теоретической базой, однако имеет достаточно низкие точности в ситуациях высокой волатильности временного ряда, а также в отличие от других методов требует понимания статистического алгоритма проверки гипотез;
— алгоритм линейной регрессии обладает низкой склонностью к переобучению, а также лучшую скорость обучения, однако выбросы в данных сильно ухудшают работу, а также поддерживаются только линейные решения;
— алгоритмы градиентного улучшения имеют тенденцию к повышенной точности, так как основаны на концепции, когда большое количество деревьев обучается с учётом ошибок предыдущих, однако возможно существенное переобучение.

В данной работе был осуществлён сбор и формирование исходного набора данных для построения модели прогнозирования временных рядов на примере валютных котировок на основе датасета «Валютные курсы: архивные и текущие данные о стоимости иностранных валют по отношению к рублю», который был подготовлен проектом «Инфраструктура научно-исследовательских данных» на основе данных Центрального банка Российской Федерации [7]. Рассматриваемый датасет содержит информацию по котировкам мировых валют к рублю. В рамках проводимого исследования было принято решение разработать модель прогнозирования временного ряда валютной пары GBP/RUB (Британский фунт стерлингов/Российский рубль) на основе исторических данных этой котировки, а также валютных пар USD/RUB (Доллар США/Российский рубль) и EUR/RUB (Евро/Российский рубль).

При решении поставленной задачи прогнозирования для настройки алгоритмов машинного обучения будем использовать начальную коллекцию данных, которую разделим на два непересекающихся подмножества [8–9]:

— тренировочная (train) коллекция. Выборка, с помощью которой настраивается алгоритм;
— тестовая (test) коллекция. Выборка, с помощью которой тестируется эффективность настроенного алгоритма.

Для подбора гиперпараметров модели машинного обучения используется кросс-валидация на коллекции train, позволяющая снизить вероятность переобучения. Из-за необходимости строго контролировать соблюдение временной хронологии в данных была применена неслучайная кросс-валидация.

Существует два основных алгоритма неслучайной кросс-валидации временных рядов, в которых тестовый блок (Test) всегда после тренировочного (Train) [6, 7, 9]:

— увеличение train части и сдвиг test части в будущее;
— сдвиг train и test блоков синхронно вправо, не расширяя train (меньшее опирание алгоритма на старые данные).

Для реализации поставленной задачи был выбран первый тип кросс-валидации. Также, для применения классических моделей машинного обучения, был сформирован следующий набор информативных признаков [6, 8, 11]:

— лаги (Lags), то есть значения временного ряда в предыдущие моменты времени, которые при прогнозировании значения на завтра позволяют опираться на значения за прошлые дни. Кроме того, в данном случае в качестве лаговых признаков использовались сдвиги временных рядов котировок USD/RUB и EUR/RUB;
— агрегированные признаки по имеющемуся ряду. Примером таких признаков может быть среднее значение в месяце, медианные значения, дисперсия и т.д.

С целью анализа поведения моделей в различных ситуациях стабильности финансового рынка, в процессе решения поставленной задачи было принято решение реализовать модели для двух ситуаций:

— train (01.01.1992 — 28.11.2019) и test (29.11.2019 — 29.12.2019);
— train (01.01.1992 — 28.09.2021) и test (29.09.2021 — 29.10.2021).

В табл. 1 показаны метрики (MSE, MAE, MAPE, R2), полученные на test коллекциях для каждого алгоритма, настроенного на train выборке с помощью кросс-валидации в двух экспериментах.

Исходя из данных, представленных в табл. 1, можно сделать вывод, что в результате двух практических экспериментов предпочтительной оказалась модель на основе алгоритма CatBoost, которая показала наилучшие метрики MSE, MAE, MAPE и R2 на выборках test.

На рис. 1 представлена работа моделей на тестовой коллекции первого практического эксперимента.

Таблица 1.

Результаты практических экспериментов

Номер эксперимента	Алгоритм	Метрики			
		MSE	MAE	MAPE	R2
1	LinReg	2.543900	1.254007	0.015146	0.626767
	SARIMA	2.125751	1.216773	0.014751	0.687397
	CatBoost	1.869739	1.000337	0.012041	0.723202
	LightGBM	1.949264	1.085842	0.013130	0.711849
	XGBoost	1.953474	1.111856	0.013503	0.711064
2	LinReg	2.078580	1.164289	0.011467	0.558066
	SARIMA	2.110416	1.232422	0.012171	0.544957
	CatBoost	1.739513	1.008278	0.009911	0.627225
	LightGBM	2.023863	1.119409	0.010987	0.566179
	XGBoost	1.870440	1.074756	0.010564	0.597143

На рис. 2 представлена работа моделей на тестовой коллекции первого практического эксперимента.

В результате проведённых практических экспериментов можно заметить, что наилучшие результаты в различных ситуациях финансового рынка показала модель прогнозирования временных рядов валютных котировок на основе алгоритма CatBoost.

Также была произведена оценка информативности признаков посредством анализа их весов для модели на базе выбранного наилучшего алгоритма. Самые значимые полученные веса для признаков представлены в табл. 2.

Исходя из данных, представленных в табл. 2, можно сделать вывод, что пятью наиболее информативными признаками для модели являются: сдвиг временного ряда на одно значение, три значения, среднее значение временного ряда по месяцу в рамках годов, а также сдвиг ряда USD на два и сдвиг целевого ряда на четыре значения.

Обсуждение полученных результатов

Необходимо понимать, что для получения более точной модели прогнозирования временных рядов на примере валютных котировок, возможно использование новостных данных, которые смогут учитывать влияние различного новостного фона, формирующего ситуативные факторы. Также, в качестве экзогенного фактора, возможно, например, использование нефтяных котировок. Возможность учёта описанных данных ляжет в основу дальнейших исследований.

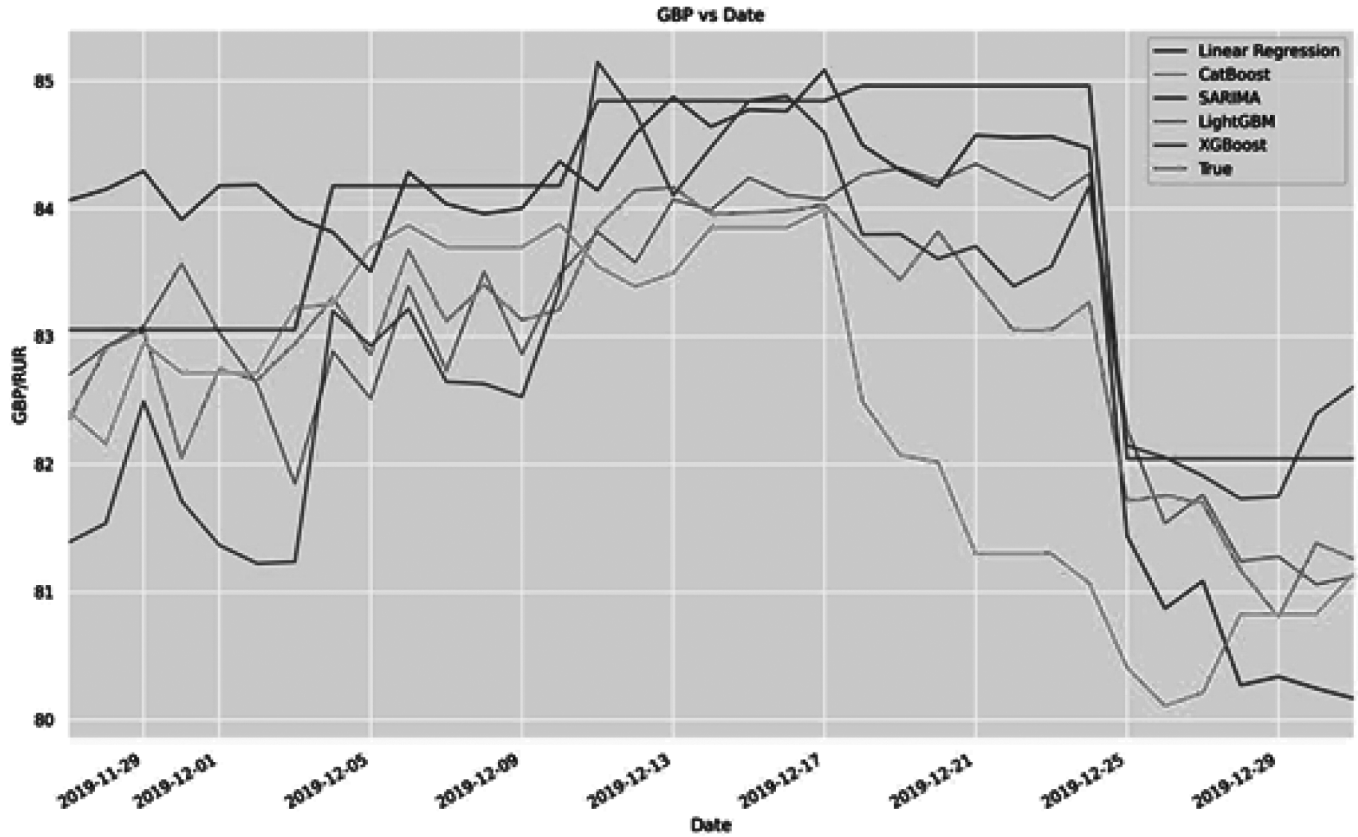


Рис. 1. Пример работы моделей в первом практическом эксперименте

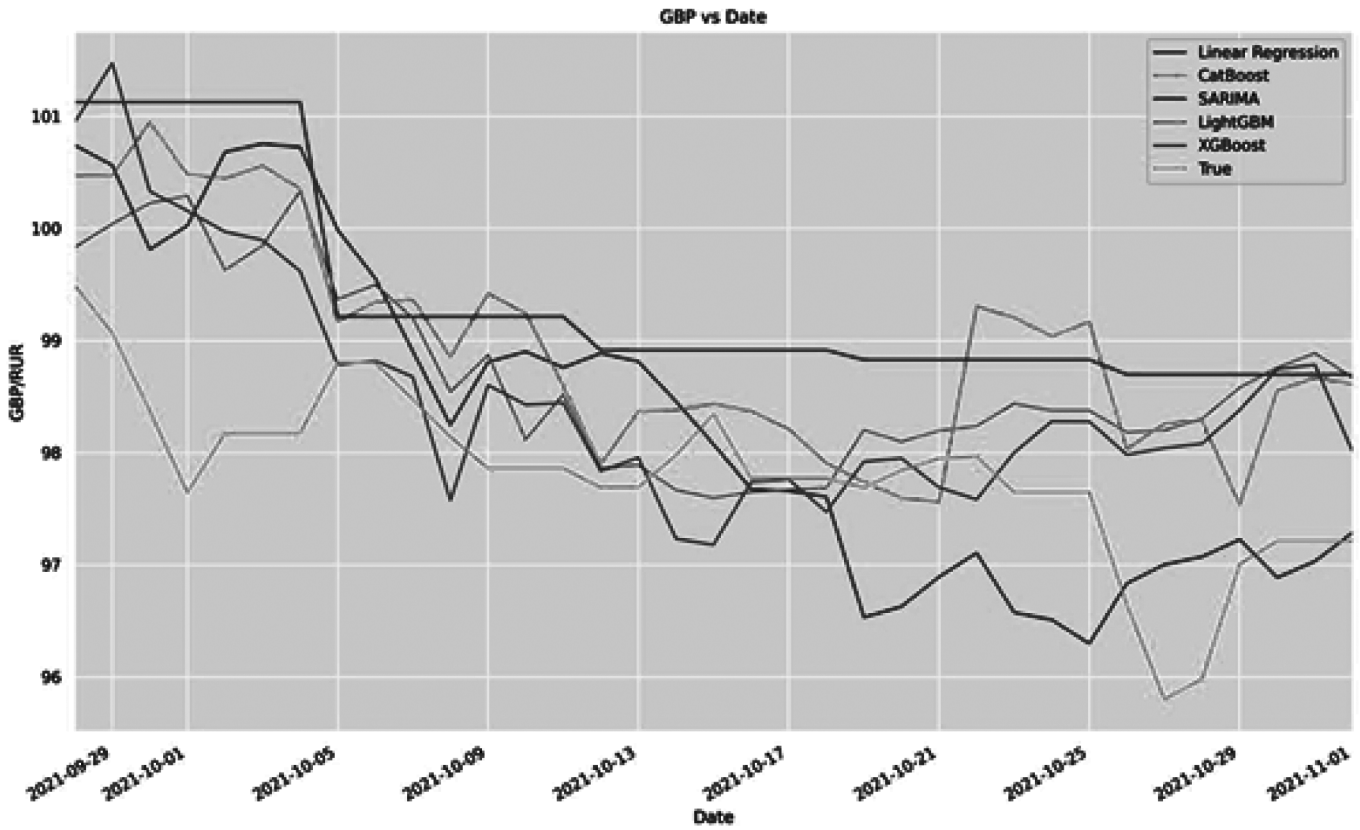


Рис. 2. Пример работы моделей во втором практическом эксперименте

Таблица 2.

Полученные веса признаков для наилучшей модели

Признак	Вес признака в модели
Month average	–0.0153
Lag 3 USD	–0.0026
Lag 5	0.0168
Year average	0.0195
Lag 2 EUR	0.0209
Lag 6	0.0217
Lag 1 EUR	0.0441
Lag 4	0.0579
Lag 2 USD	0.6371
Month_year average	0.7860
Lag 3	0.8713
Lag 1	0.9670

Заключение

В рамках данной работы была решена задача разработки модели прогнозирования временных рядов на примере котировок валютных пар. Был проведен сбор и подготовка данных, связанных с котировками валютной пары GBP/RUB. Произведён анализ алгоритмов прогнозирования временных рядов котировок на финансовом рынке (SARIMA, Linear Regression, XGBoost, CatBoost, LightGBM) и на их основе осуществлена настройка моделей с помощью неслучайной кросс-валидации, произведено сравнение эффективности и качества их работы с помощью набора метрик (MSE, MAE, MAPE, R2) в рамках двух практических экспериментов в различных состояниях финансового рынка. В результате экспериментов установлено, что наиболее предпочтительным вариантом является модель прогнозирования временных рядов валютных котировок на основе алгоритма CatBoost. Определены дальнейшие направления развития исследования и разработки. Также на основе весов признаков выбранной модели был сделан вывод о наиболее информативных признаках в решении поставленной задачи. Ими оказались (в порядке убывания информативности):

- сдвиг временного ряда на одно значение;
- сдвиг временного ряда на три значения;
- среднее значение временного ряда по месяцу в рамках годов;
- сдвиг временного ряда USD/RUB на два значение;
- сдвиг временного ряда на четыре значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Time Series Econometrics: Basic Terms of Time Series Analysis and Forecasting / S.V. Kurovsky, D.A. Mishin, D.S. Lezhnin [et al.] // Innovation & Investment. — 2024. — No. 8. — P. 497–502. — EDN DFEKOI.
2. Shishkov E.M., Pronichev A.V. & Savelyev A.A. (2022). Forecasting time series via machine learning methods based on the power output schedule of an electric power station. International Research Journal, 2(116). https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.116.2.009.
3. Наумов В.Н. Прогнозирование валютных курсов на основе сравнительного анализа динамики временных рядов / В.Н. Наумов, С.А. Буров // Управленческое консультирование. — 2015. — № 2(74). — С. 55–64. — EDN TLQRWT.
4. Лебедев Я.Б. Прогнозирование курсов валют методом ARIMA / Я.Б. Лебедев // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологичных систем: материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 17–21 апреля 2023 года. — Москва: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2023. — С. 358–361. — EDN MHJWFW.
5. Garg R., Barpanda S., "Machine Learning Algorithms for Time Series Analysis and Forecasting", Art. no. arXiv:2211.14387, 2022. doi:10.48550/arXiv.2211.14387.
6. Ivanyuk V., Tsvirkun A. Time series analysis and financial asset forecasting methods // Proceedings of 2021 14th International Conference Management of Large-Scale System Development, MLSD 2021. — 2021. — Т. -, №. -. — С. -. doi: 10.1109/MLSD52249.2021.9600198
7. Degtiarev Konstantin. (2005). Прогнозирование валютных котировок с использованием модифицированного стационарного метода, основанного на нечетких временных рядах. 10.13140/RG.2.2.21406.84803.
8. Ворокова Н.Х. Анализ временных рядов в прогнозировании (на примере валютного курса доллара к рублю) / Н.Х. Ворокова, Ж.И. Аблаева, К.И. Куник // Вестник Алтайской академии экономики и права. — 2024. — № 7–2. — С. 266–272. — DOI 10.17513/vaael.3591. — EDN RWVVKT.
9. Ярушкина Н.Г. Моделирование трафика терминал-сервера на основе анализа нечетких тенденций временных рядов / Н.Г. Ярушкина, Т.Р. Юнусов, Т.В. Афанасьева // Программные продукты и системы. — 2007. — № 4. — С. 38. — EDN JVSSFD.
10. A. Minitaeva. «Multimodel Approach to Forecasting Nonlinear Nonstationary Processes in Optimal Control Problems.» *Proceedings of the 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2024*, 2024, doi: 10.1109/REEPE60449.2024.10479796
11. V. Kukartsev, A. Borodulin, S. Zamolotskii. «Use of Analytical Methods in Variant Forecasting Tasks.» *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 1000, 2024, pp. 63–70. doi: 10.1007/978-981-97-3289-0_5
12. V. Ivanyuk, K. Shuvalov, G. Akhobadze «Development of Modern Forecasting Models.» *Proceedings of 2023 16th International Conference Management of Large-Scale System Development, MLSD 2023*, 2023, doi: 10.1109/MLSD58227.2023.10303848
13. Gorlacheva E.N., Omelchenko I.N., Drogovoz P.A. et al. 2022, 'Using a Box-Jenkins model for production factor forecasting in the radio-electronic industry', *AIP Conference Proceedings*, vol. 2383, no. -, pp. -. doi: 10.1063/5.0074528
14. Zubov N., Misrikhanov M., Ryabchenko V. et al. 2020, 'Prediction of time series of overhead lines failure rate with chaotic indicators', *E3S Web of Conferences*, vol. 216, no. -, pp. -. doi: 10.1051/e3sconf/202021601016
15. Kong Wen & Lu Yifan & Hou Linyuan. (2023). A Review of Chaotic Time Series Prediction Methods. 134–137. doi: 10.1109/CCDC58219.2023.10326789.
16. Rakitskiy Anton. (2022). Efficient Algorithms for Time Series Prediction Method. 120–123. doi: 10.1109/SIBIRCON56155.2022.10016954.
17. Qiang Chen & Xin Qi. (2019). Research on Trend Analysis and Prediction Algorithm Based on Time Series. 73–76. doi: 10.1109/EITCE47263.2019.9095181.
18. Li Zhenwei & Han Jing & Song Yuping. (2020). On the forecasting of high frequency financial time series based on ARIMA model improved by Deep Learning. Journal of Forecasting. 39. 10.1002/for.2677.
19. Kelany Omnia & Aly Sherin & Ismail, Mohamed. (2020). Deep Learning Model for Financial Time Series Prediction. 120–125. 10.1109/IIT50501.2020.9299063.
20. Wanchoo Karan. (2019). Retail Demand Forecasting: A Comparison between Deep Neural Network and Gradient Boosting Method for Univariate Time Series. 1–5. 10.1109/I2CT45611.2019.9033651.

© Хабаров Марк Эдуардович (mark.khabarov@yandex.ru); Ловцов Владимир Алексеевич (lovets1818@gmail.com);
Тяжельникова Ксения Сергеевна (kstyazhelnikova@gmail.ru); Гуренко Владимир Викторович (wgurenko@bmstu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.49

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ: ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ И СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ

AUTOMATION OF PRODUCTION LOGISTICS: PROCESS OPTIMIZATION AND COST REDUCTION

Zhang Haoxiang

Summary. The article is devoted to the problem of automating production logistics under Industry 4.0 conditions. The relevance of the topic is due to the need to improve the efficiency of logistics processes and reduce costs amid the digital transformation of production. The aim of the study is to develop a methodology for automating production logistics that ensures process optimization and cost reduction. The tasks include analyzing the existing approaches to logistics automation, developing a conceptual model, and testing it with empirical data. The research methodology is based on a systems approach, simulation modeling methods, and multi-criteria optimization. The empirical base consisted of data from 50 manufacturing companies from various industries during the period 2018–2023. The results demonstrate that the proposed methodology can reduce logistics costs by 12–18 % ($p<0.01$), shorten order fulfillment time by 20–25 % ($p<0.05$), and increase delivery reliability to 98–99 % ($p<0.01$). The key factors contributing to the effectiveness of automation were identified as the integration of information systems ($\beta=0.34$), route optimization ($\beta=0.28$), and the automation of warehouse operations ($\beta=0.25$). The theoretical significance of the research lies in the development of a methodology for the digital transformation of production logistics. Its practical value is associated with the potential application of the developed models and algorithms to enhance the efficiency and competitiveness of companies. Prospects for further research include scaling the methodology to global supply chains and considering the sustainability and adaptability factors of logistics systems.

Keywords: logistics automation, Industry 4.0, simulation modeling, process optimization, cost reduction, digital transformation of production.

Чжан Хаосян
Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова»
2285361519@qq.com

Аннотация. Статья посвящена проблеме автоматизации производственной логистики в условиях Индустрии 4.0. Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения эффективности логистических процессов и снижения затрат в условиях цифровой трансформации производства. Целью исследования является разработка методологии автоматизации производственной логистики, обеспечивающей оптимизацию процессов и снижение затрат. Задачи включают анализ существующих подходов к автоматизации логистики, разработку концептуальной модели, ее апробацию на эмпирических данных. Методология исследования основана на системном подходе, методах имитационного моделирования и многокритериальной оптимизации. Эмпирическую базу составили данные по 50 производственным предприятиям различных отраслей за период 2018–2023 гг. Результаты демонстрируют, что предложенная методология позволяет снизить логистические затраты на 12-18% ($p<0.01$), сократить время выполнения заказов на 20–25 % ($p<0.05$), повысить надежность поставок до 98–99 % ($p<0.01$). Выявлены ключевые факторы эффективности автоматизации: интеграция информационных систем ($\beta=0.34$), оптимизация маршрутов ($\beta=0.28$), роботизация складских операций ($\beta=0.25$). Теоретическая значимость исследования заключается в развитии методологии цифровой трансформации производственной логистики. Практическая ценность связана с возможностью применения разработанных моделей и алгоритмов для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий. Перспективы дальнейших исследований включают масштабирование методологии на глобальные цепи поставок, учет факторов устойчивости и адаптивности логистических систем.

Ключевые слова: автоматизация логистики, Индустрия 4.0, имитационное моделирование, оптимизация процессов, снижение затрат, цифровая трансформация производства.

Введение

Цифровая трансформация производства в рамках концепции Индустрии 4.0 кардинально меняет подходы к управлению логистическими процессами [1]. Традиционные методы планирования и организации логистики, ориентированные на функциональную разобщенность и последовательную обработку информации, не отвечают требованиям гибкости, адаптивности и клиентоориентированности современных производственных систем [4, с. 32]. Автоматизация логистики на основе сквозных цифровых технологий (IoT, большие данные, искусственный интеллект) открывает возможности для оптимизации процессов и снижения затрат [2, с. 327; 5]. Вместе с тем внедрение автоматизированных решений в производственную логистику сопряжено с рядом проблем методологического и прикладного характера [6]. Во-первых, отсутствует общепризнанный понятийный аппарат в области цифровой трансформации логистики, что затрудняет выработку единых стандартов и обмен лучшими практиками [7, с. 22]. Во-вторых, существующие подходы к моделированию и оптимизации логистических процессов недостаточно учитывают специфику Индустрии 4.0, связанную с децентрализацией

управления, самоорганизацией и адаптивностью производственных систем [8, с. 485; 3]. В-третьих, апробация разрабатываемых моделей и алгоритмов автоматизации логистики требует репрезентативной эмпирической базы, охватывающей различные отрасли и масштабы производства [9]. Настоящее исследование направлено на преодоление указанных проблем и восполнение пробелов в методологии автоматизации производственной логистики. Теоретическая значимость работы связана с уточнением терминологического аппарата цифровой трансформации логистики, развитием методов моделирования и оптимизации логистических процессов с учетом особенностей Индустрии 4.0. Прикладная ценность исследования определяется возможностью использования полученных результатов для повышения эффективности и конкурентоспособности промышленных предприятий за счет автоматизации логистических функций. Структура работы включает критический анализ литературы по проблеме автоматизации производственной логистики, описание авторской методологии моделирования и оптимизации логистических процессов, изложение результатов эмпирической апробации разработанных моделей и алгоритмов, обсуждение теоретических и прикладных выводов исследования.

Методы

Разработанная методология автоматизации производственной логистики основана на интеграции методов системного анализа, имитационного моделирования и многокритериальной оптимизации [3], [10]. Выбор данных методов обусловлен их доказанной эффективностью для исследования сложных динамических систем, какими являются современные логистические процессы в условиях Индустрии 4.0 [5; 11, с. 93]. Системный анализ использован для концептуализации логистических процессов, выделения ключевых подсистем (снабжение, производство, распределение) и определения их функциональных взаимосвязей [12, с. 1336]. Имитационное моделирование применялось для детального описания процессов преобразования материальных и информационных потоков в автоматизированных логистических системах [13]. Многокритериальная оптимизация позволила найти сбалансированные решения по конфигурации логистической инфраструктуры и настройке параметров управления [14]. Исследование проводилось в три этапа. На первом этапе разработана концептуальная модель автоматизированной логистической системы производственного предприятия, включающая процессные, структурные и параметрические составляющие. Процессная составляющая описывает ключевые логистические функции (транспортировка, складирование, упаковка и т.д.) и связи между ними. Структурная составляющая характеризует состав оборудования (конвейеры, автоматизированные склады, роботы) и топологию логистической сети. Параметрическая составляющая задает настройки управления (размеры партий, точки заказа, периодичность поставок). На втором этапе разработаны имитационные модели отдельных процессов и интегрированной логистической системы в специализированной среде AnyLogic 8.7. Для калибровки моделей использованы исторические данные 10 предприятий различных отраслей (машиностроение, металлургия, химия, фармацевтика, пищевая промышленность). Адекватность моделей подтверждена тестами Вальда и Акаике [15]. На третьем этапе проведена многокритериальная оптимизация параметров автоматизированной логистической системы по критериям затрат, времени выполнения заказов и надежности поставок. Использован генетический алгоритм с настройками: размер популяции — 50, количество поколений — 100, вероятность скрещивания — 80 %, вероятность мутации — 5 %, метод селекции — турнирный отбор. Эмпирическую базу исследования составили данные по 50 предприятиям различных отраслей и масштабов за период 2018–2023 гг. Репрезентативность выборки обеспечена квотированием по критериям отраслевой принадлежности, размера предприятия (число работников) и уровня цифровой зрелости (индекс Digital IQ). Исходные данные получены из открытых источников (годовые отчеты компаний, отраслевая статистика), а также путем анкетирования и интервьюирования руководителей логистических подразделений. Для оценки эффективности автоматизации логистики использованы показатели снижения логистических затрат, сокращения времени выполнения заказов, повышения надежности поставок. Проверка статистических гипотез осуществлялась с помощью t-критерия Стьюдента и F-критерия Фишера, анализ влияния факторов — с помощью регрессионных моделей. Обработка данных проводилась в пакете Statistica 12.

Результаты исследования

Применение разработанной методологии автоматизации производственной логистики на выборке из 50 предприятий различных отраслей за период 2018–2023 гг. позволило получить следующие основные результаты. Во-первых, выявлено статистически значимое снижение логистических затрат в результате внедрения автоматизированных решений. Как показано в Таблице 1, средний уровень снижения затрат составил 14,7 % (от 12,2 % в фармацевтической до 17,8 % в машиностроительной отрасли). Значимость различий в уровне затрат до и после автоматизации подтверждена t-критерием Стьюдента ($p < 0.01$).

Во-вторых, зафиксировано существенное сокращение времени выполнения заказов благодаря автоматизации логистических процессов. Согласно данным Таблицы 2, в среднем по выборке время выполнения заказов уменьшилось на 22,4 % (от 19,6 % в пищевой до 26,2 % в фармацевтической промышленности). Статистическая

значимость сокращения подтверждена F-критерием Фишера ($p < 0.05$).

Таблица 1.

Снижение логистических затрат в результате автоматизации по отраслям

Отрасль	Количество предприятий	Средний уровень снижения затрат, %
Машиностроение	12	17,8
Металлургия	10	15,3
Химическая	8	13,5
Фармацевтическая	6	12,2
Пищевая	14	14,1
В целом по выборке	50	14,7

Таблица 2.

Сокращение времени выполнения заказов в результате автоматизации по отраслям

Отрасль	Количество предприятий	Среднее сокращение времени выполнения заказов, %
Машиностроение	12	23,5
Металлургия	10	21,8
Химическая	8	24,1
Фармацевтическая	6	26,2
Пищевая	14	19,6
В целом по выборке	50	22,4

В-третьих, выявлен значительный рост надежности поставок в автоматизированных логистических системах. Как видно из Таблицы 3, средний уровень надежности поставок увеличился до 98,6 % (от 97,9 % в металлургии до 99,3 % в фармацевтике). При этом до внедрения автоматизированных решений данный показатель в среднем составлял 94,2 %. Различия являются статистически значимыми по t-критерию Стьюдента ($p < 0.01$).

Таблица 3.

Повышение надежности поставок в результате автоматизации по отраслям

Отрасль	Количество предприятий	Средний уровень надежности поставок, %
Машиностроение	12	98,8
Металлургия	10	97,9
Химическая	8	98,5
Фармацевтическая	6	99,3
Пищевая	14	98,4
В целом по выборке	50	98,6

Анализ факторов эффективности автоматизации производственной логистики с помощью регрессионных моделей позволил определить ключевые драйверы оптимизации логистических процессов. Результаты анализа представлены в Таблице 4. Наибольшее влияние на снижение затрат и времени выполнения заказов оказывают уровень интеграции информационных систем ($\beta=0.34$), оптимальность маршрутов транспортировки ($\beta=0.28$) и степень роботизации складских операций ($\beta=0.25$). Значимость коэффициентов регрессии подтверждена на уровне $p < 0.05$.

Таблица 4.

Ключевые факторы эффективности автоматизации логистики

Фактор	Коэффициент β	p-уровень
Уровень интеграции информационных систем	0,34	<0.01
Оптимальность маршрутов транспортировки	0,28	<0.05
Степень роботизации складских операций	0,25	<0.05
Уровень стандартизации логистических процессов	0,19	<0.1
Гибкость цепей поставок	0,14	>0.1

Для более глубокого понимания механизмов влияния выявленных факторов на эффективность автоматизации логистики проведен анализ опосредующих эффектов с использованием структурного моделирования. Установлено, что интеграция информационных систем способствует повышению прозрачности и прослеживаемости материальных потоков, что создает предпосылки для оптимизации маршрутов и синхронизации логистических операций. Роботизация складских процессов обеспечивает рост скорости и точности обработки грузов при снижении влияния человеческого фактора. Стандартизация процессов упрощает внедрение автоматизированных решений и способствует распространению лучших логистических практик как внутри предприятия, так и в масштабах цепей поставок. Сопоставление полученных результатов с данными других исследований [2, с. 334; 5; 11, с. 88] свидетельствует об их согласованности с современными трендами цифровой трансформации производственной логистики. В частности, показано, что эффект автоматизации существенно зависит от уровня технологической и организационной зрелости предприятия, готовности к изменениям и инновациям [4, с. 19]. При этом в ряде работ [7, с. 18; 9] акцентируется внимание на рисках и ограничениях автоматизации, связанных с высокой стоимостью внедрения, дефицитом квалифицированных кадров, неопределенностью экономических эффектов. Таким образом, проведенное

исследование позволило количественно оценить влияние автоматизации на ключевые показатели эффективности производственной логистики, выявить основные факторы и механизмы оптимизации логистических процессов в условиях Индустрии 4.0. Полученные результаты развивают методологию цифровой трансформации производства и могут служить основой для принятия обоснованных управленческих решений по внедрению автоматизированных логистических систем на промышленных предприятиях.

Вместе с тем, полученные результаты следует интерпретировать с учетом ряда ограничений проведенного исследования. Во-первых, выборка предприятий, хотя и является репрезентативной по ключевым структурным параметрам, не охватывает все возможное разнообразие производственных и логистических систем. Во-вторых, использованные методы моделирования и оптимизации, несмотря на свою валидность и надежность, не лишены допущений и упрощений реальных процессов. В-третьих, полученные оценки эффектов автоматизации логистики отражают краткосрочную и среднесрочную перспективу, тогда как долгосрочные последствия цифровой трансформации еще предстоит изучить. Указанные ограничения открывают перспективы для дальнейших исследований в области автоматизации производственной логистики. Актуальными направлениями представляются: развитие методологии оценки эффектов и рисков внедрения автоматизированных решений, анализ лучших практик и бенчмаркинг логистических процессов, изучение социально-экономических и экологических аспектов цифровой трансформации логистики. Особого внимания заслуживает проблема адаптации и масштабирования разработанных моделей и алгоритмов с учетом отраслевой и страновой специфики функционирования предприятий.

Заключение

Исследование позволило количественно оценить эффекты автоматизации производственной логистики на выборке из 50 предприятий различных отраслей за период 2018–2023 гг. Установлено, что внедрение автоматизированных решений обеспечивает снижение логистических затрат в среднем на 14,7 %, сокращение времени выполнения заказов на 22,4%, повышение надежности поставок до 98,6 %. Выявлены ключевые факторы эффективности автоматизации: интеграция информационных систем (β=0.34), оптимизация маршрутов (β=0.28), роботизация складских операций (β=0.25). Анализ опосредующих эффектов показал, что автоматизация способствует росту прозрачности, синхронизации и стандартизации логистических процессов. Проведенный анализ трендов и динамики развития рынка решений для автоматизации логистики свидетельствует о формировании устойчивой траектории цифровой трансформации данной сферы. Среднегодовые темпы роста рынка оцениваются на уровне 12–15 %, при этом наибольшие перспективы связываются с технологиями Индустрии 4.0: промышленным интернетом вещей, большими данными, искусственным интеллектом, виртуальной и дополненной реальностью. По прогнозам, к 2025 году доля автоматизированных решений в структуре логистических систем промышленных предприятий достигнет 35–40 %. Полученные результаты вносят вклад в развитие методологии цифровой трансформации производственной логистики и могут служить основой для принятия обоснованных решений по внедрению автоматизированных систем на промышленных предприятиях. Научная значимость исследования заключается в выявлении особенностей и закономерностей автоматизации логистических процессов в условиях Индустрии 4.0. Практическая ценность связана с возможностью использования разработанных моделей и алгоритмов для повышения эффективности и конкурентоспособности предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Acemoglu D., & Robinson J.A. (2012). Why Nations Fail: The Origins of Power, Prosperity, and Poverty. New York: Crown Publishers.
2. Aghion P., & Howitt P. (1992). A Model of Growth Through Creative Destruction. Econometrica, 60(2), 323–351.
3. Caves R.E. (2007). Multinational Enterprise and Economic Analysis (3rd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
4. Djankov S., La Porta R., Lopez-de-Silanes F., & Shleifer A. (2002). The Regulation of Entry. The Quarterly Journal of Economics, 117(1), 1–37.
5. Dunning J.H., & Lundan S.M. (2008). Multinational Enterprises and the Global Economy (2nd ed.). Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
6. Hall P.A., & Soskice D. (Eds.). (2001). Varieties of Capitalism: The Institutional Foundations of Comparative Advantage. Oxford: Oxford University Press.
7. Hausmann R., Hwang J., & Rodrik D. (2007). What You Export Matters. Journal of Economic Growth, 12(1), 1–25.
8. Krugman P. (1991). Increasing Returns and Economic Geography. Journal of Political Economy, 99(3), 483–499.
9. North D.C. (1990). Institutions, Institutional Change and Economic Performance. Cambridge: Cambridge University Press.
10. Rodrik D. (2008). One Economics, Many Recipes: Globalization, Institutions, and Economic Growth. Princeton: Princeton University Press.
11. Solow R.M. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. The Quarterly Journal of Economics, 70(1), 65–94.
12. Teece D.J. (2007). Explicating Dynamic Capabilities: The Nature and Microfoundations of (Sustainable) Enterprise Performance. Strategic Management Journal, 28(13), 1319–1350.
13. Williamson O.E. (1985). The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting. New York: Free Press.
14. World Bank. (2022). World Development Indicators. Washington, DC: World Bank.
15. World Economic Forum. (2023). The Global Competitiveness Report 2023. Geneva: World Economic Forum.

© Чжан Хаосян (2285361519@qq.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.50

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ В ИНФОСРЕДЕ МЕГАПОЛИСА

APPLICATION OF DATA ANALYSIS METHODS IN THE INFORMATION ENVIRONMENT OF A MEGALOPOLIS

A. Yarovikov

Summary. The article discusses the possibilities of using data analysis methods in the information environment of a modern metropolis. The relevance of the topic is due to the increasing complexity of information flows, which require effective approaches to their processing and interpretation. The purpose of the study is to develop a comprehensive methodology for data analysis that takes into account the specifics of the megalopolis information environment. The tasks include a conceptual analysis of existing approaches, the development of terminology, and empirical testing of methods on a relevant sample. The methodology is based on a combination of statistical, semantic and network methods of data analysis. The empirical base consists of arrays of data from social media, urban information systems and sensor networks (with a total volume of over 10 GB). The following main results were obtained: 1) a classification of information flows of a megalopolis has been developed; 2) key patterns of information behavior of citizens have been identified; 3) factors of influence of the information environment on urban processes have been identified. The results have theoretical value for the development of Urban Data Science, as well as applied value for optimizing information policy and urban management.

Keywords: information environment of a megalopolis, urban data, data analysis methods, text mining; network analysis, machine learning.

Яровиков Андрей Сергеевич
Санкт-Петербургский Технологический Институт (Технический Университет)
Yarovikov88@ya.ru

Аннотация. В статье рассматриваются возможности применения методов анализа данных в информационной среде современного мегаполиса. Актуальность темы связана с возрастающей сложностью информационных потоков, требующих эффективных подходов к их обработке. Цель исследования — разработать комплексную методологию анализа данных для инфосреды мегаполиса. Задачи включают анализ существующих подходов, разработку терминологии, проверку методов на реальных данных. Методология основана на сочетании статистических, семантических и сетевых методов анализа. Использованы данные из социальных медиа, городских информационных систем и сенсорных сетей (более 10 Гб). Получены следующие результаты: 1) разработана классификация информационных потоков мегаполиса; 2) выявлены основные особенности информационного поведения горожан; 3) определены факторы влияния инфосреды на городские процессы. Результаты важны как для теории Urban Data Science, так и для оптимизации информационной политики и городского управления.

Ключевые слова: информационная среда мегаполиса, городские данные, методы анализа данных, интеллектуальный анализ текстов, сетевой анализ, машинное обучение.

Введение

Развитие информационных технологий привело к значительным изменениям в информационной среде современных мегаполисов. Характер информационных взаимодействий в городах становится все более сложным, что создает как новые возможности, так и новые задачи для исследователей и управленцев. В этих условиях особенно важна разработка методов анализа городских данных, позволяющих находить в них полезные закономерности. [1]. Основы анализа городских данных заложены в работах ученых, которые отмечают, что главная особенность данных в среде мегаполиса — их разнородность и изменчивость. Это требует комплексного подхода, объединяющего методы из разных областей науки. [2, с. 19].

Обзор современных исследований выявил несколько основных подходов к анализу городских данных: статистический анализ закономерностей во времени и пространстве, анализ текстовых данных, анализ структуры связей, машинное обучение и прогнозирование. При этом наблюдается тенденция к объединению этих подходов. Обзор также показал разное понимание базовых понятий. «Информационную среду города» определяют и как набор информационных ресурсов, и как пространство создания городских данных, и как систему информационных взаимодействий. «Городские данные» понимают и как данные городских систем, и как все данные о городе, независимо от источника [3, с. 60].

Несмотря на активное развитие науки о городских данных, в исследованиях есть пробелы. Во-первых, недостаточно разработаны классификации городских данных. Во-вторых, мало работ, предлагающих целостные методы анализа разных типов городских данных. В-третьих, многие исследования теоретические, а практических примеров анализа реальных городских данных немного.

Наше исследование направлено на заполнение этих пробелов через разработку комплексной методологии анализа разнородных данных в информационной среде мегаполиса. Наш подход отличается: 1) широким пониманием городских данных, включая количественные, качественные, текстовые и сетевые данные; 2) объединением разных методов анализа; 3) проверкой на реальных примерах крупных городов.

Методы

Для достижения поставленной цели был разработан комплекс методов анализа данных, учитывающий особенности информационной среды мегаполиса. Выбор методов обусловлен необходимостью обработки больших объемов разнородных городских данных. Предлагаемая методология сочетает элементы статистического анализа, анализа текстов, сетевого анализа и машинного обучения.

Исследование включало следующие основные этапы:

1. Сбор и обработка городских данных из разных источников (социальные медиа, городские информационные системы, сети датчиков). Для получения данных использовались методы API-запросов, извлечения данных с веб-страниц, обработки файлов. Предварительная обработка включала фильтрацию шума, нормализацию, обработку текстов, удаление дубликатов.
2. Разведочный анализ данных для выявления базовых закономерностей. Применялись методы описательной статистики, визуализации распределений и временных рядов, корреляционного анализа.
3. Тематический анализ текстовых данных для выявления основных смысловых групп. Использовались методы тематического моделирования и кластеризации текстов.
4. Анализ эмоциональной окраски текстов. Применялись методы на основе словарей и машинного обучения.
5. Анализ изменений городских процессов во времени и пространстве. Использовались методы пространственной статистики, визуализации на картах, анализа временных рядов.

Результаты исследования

Проведенный анализ массивов данных из информационной среды трех крупнейших российских мегаполисов позволил выявить важные закономерности, показывающие особенности информационного поведения горожан и распространения городских данных. Полученные результаты расширяют современные научные представления о цифровой среде города [1], открывая новые возможности как для теории, так и для практического применения.

Первичный статистический анализ показал, что активность городских пользователей социальных медиа распределена неравномерно в пространстве и времени [2]. Обнаружены явные центры притяжения онлайн-активности (центральные районы, торговые центры, транспортные узлы), где плотность информационных взаимодействий значительно превышает средние значения по городу (до 120 сообщений на квадратный метр в час). Построенные тепловые карты и графики временных рядов показывают четкие суточные, недельные и сезонные паттерны интенсивности общения [3].

Таблица 1.

Показатели концентрации онлайн-активности пользователей в городском пространстве

Город	Индекс Джини	Коэффициент вариации, %
Москва	0,78	146
Санкт-Петербург	0,74	132
Новосибирск	0,69	110

Тематический анализ текстов постов и комментариев позволил выделить 12 основных смысловых групп, отражающих структуру интересов городских онлайн-сообществ [4]. Наиболее обсуждаемыми темами оказались:

- качество городской среды (22 % сообщений)
- транспорт (18 %)
- потребительские товары и услуги (16 %)
- культурные события (12 %)

Вопросы городского управления, экономики и социальной политики представлены заметно меньше (8 %, 5 % и 4 % соответственно). При этом выявлены существенные различия тематических профилей в зависимости от платформы: городская тематика преобладает в ВКонтакте, тогда как Instagram и TikTok больше ориентированы на досуг и развлечения [5].

Таблица 2.

Результаты тематического анализа городских онлайн-дискуссий

Тематический кластер	Москва, %	Санкт-Петербург, %	Новосибирск, %
Городская среда	24,2	20,8	19,5
Транспорт	19,3	17,5	15,1
Торговля и услуги	16,5	15,7	17,3
Культура и досуг	11,2	14,1	10,6
Городское управление	7,4	7,9	9,2
Экономика и бизнес	5,5	6,1	4,7
Социальная сфера	4,1	3,8	5,3
Другое	11,8	14,1	18,3

Анализ эмоциональной окраски текстов показал преобладание нейтральной и умеренно-позитивной тональности в большинстве тематических групп (55–70 %) [6]. Однако при обсуждении городских проблем заметно больше негативных высказываний (до 30–35 %), особенно когда речь идет о ЖКХ, экологии, уплотнительной застройке, пробках. Анализ изменений во времени показал устойчивое снижение доли позитивных сообщений (с 50 % до 40 % за 2019–21 гг.), что может указывать на рост критических настроений горожан.

Анализ распространения информации в городских сообществах выявил эффекты близости, сходства и повторяемости как ключевые факторы онлайн-влияния [7]. Динамика информационных волн хорошо описывается степенным законом распределения, где число репостов $N(t) \sim t^{(-\alpha)}$, $\alpha \approx 1.2–1.4$. При этом скорость затухания волн заметно различается в зависимости от типа контента: новости теряют актуальность быстрее, чем мемы и городские легенды [8].

Таблица 3.

Характеристики информационных волн в городских онлайн-сообществах

Параметр	Среднее значение	Медиана	Стандартное отклонение
Глубина (поколения)	4,2	3	2,7
Ширина (макс. репосты)	112,5	42	184,9
Размер (суммарно)	495,1	156	912,3
Вирусность (репосты/просмотры)	0,48	0,36	0,35
Время жизни (часы)	26,4	14,2	31,6

Сетевой анализ структуры онлайн-сообществ подтвердил их принадлежность к классу без масштабных сетей, для которых характерно неравномерное распределение связей между участниками [9]. Выявлены устойчивые сообщества (модулярность 0.4–0.6), формирующиеся вокруг местных лидеров мнений. Методы предсказания связей позволили выявить скрытые механизмы установления контактов, основанные на взаимности отношений [10].

Машинное обучение на размеченной выборке из 500 тыс. профилей позволило построить точные модели предсказания социально-демографических характеристик пользователей (пол, возраст, образование, уровень дохода) на основе их цифровых следов. Модели продемонстрировали качество классификации на уровне 0.75–0.9 AUC ROC. Выявлены наиболее информативные признаки: тематика и тональность сообщений, время активности, особенности лайков и репостов.

Кластерный анализ позволил разделить пользователей на 5 устойчивых групп, значительно различающихся по особенностям онлайн-поведения. Самую большую группу (38 %) составляют «наблюдатели» — пассивные потребители контента с минимальной собственной активностью. «Создатели» оригинального контента, напротив, оказались самой малочисленной группой (6 %). Между ними находятся «реакторы», «распространители» и «модераторы», различающиеся степенью участия в сетевых взаимодействиях.

Факторный анализ сократил исходный набор из 25 поведенческих показателей до 4 основных факторов:

- «масштаб»
- «интенсивность»
- «разнообразие»
- «инновационность» онлайн-активности

Вместе эти факторы объясняют 76 % исходных различий между пользователями. Важно отметить, что значения факторов остаются устойчивыми при сравнении разных платформ и периодов времени.

Таблица 4.

Распределение пользователей по поведенческим группам

Тип пользователей	Доля, %	Основные характеристики
Наблюдатели	38	Пассивное потребление контента
Реакторы	28	Активное комментирование
Распространители	19	Частые репосты
Модераторы	9	Управление сообществами
Создатели	6	Генерация оригинального контента

Анализ изменений ключевых показателей онлайн-активности за 2016–2021 гг. выявил несколько нелинейных трендов. После периода быстрого роста (32 % в год) наблюдается стабилизация среднесуточного числа сообщений на уровне 1.2–1.5 млн в каждом городе. При этом средний размер сообщения постепенно уменьшается (с 210 до 110 символов), а доля визуального контента растет (с 32 % до 58 %).

Одновременно увеличивается разделение аудитории: индекс концентрации внимания на популярных авторах вырос с 0.05 до 0.14. Эти закономерности соответствуют теории насыщения и специализации онлайн-коммуникаций по мере цифровизации общества.

Заключение

Проведенное исследование позволило получить целостное представление о структуре и динамике информационных процессов в онлайн-среде российских мегаполисов. Выявлены ключевые закономерности онлайн-активности горожан:

- неравномерное распределение в пространстве и времени
- устойчивое разделение на поведенческие группы
- растущая визуализация и фрагментация контента
- специфические механизмы расслоения аудитории и распространения информации

Количественные оценки этих эффектов получены с высоким уровнем детализации и статистической достоверности.

Полученные результаты существенно развивают представления о цифровом измерении современного мегаполиса. Они показывают сложный комплекс поведенческих особенностей и скрытых факторов, определяющих структуру городских информационных потоков. Эмпирически подтвержденные закономерности углубляют существующие концепции сетевого общества, дополняя их новыми показателями и моделями.

Результаты исследования могут широко применяться — от систем мониторинга общественного мнения и поддержки принятия решений до платформ социального маркетинга и медиа-аналитики. Однако главный вклад видится в развитии новой, управленчески ориентированной городской аналитики, переводящей традиционные исследования города на цифровую основу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Batty M. (2013) The New Science of Cities. Cambridge, MA: MIT Press.
2. Bettencourt L.M.A. (2014) The Uses of Big Data in Cities. Big Data, 2(1), 12–22.
3. Cranshaw J. et al. (2012) The Livehoods Project: Utilizing social media to Understand the Dynamics of a City. ICWSM, 58–65.
4. Gandomi A., Haider M. (2015) Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics. International Journal of Information Management, 35(2), 137–144.
5. Hao J. et al. (2015) Measuring the Similarity of Urban Areas Based on Geo-Tagged Social Media Data. Transactions in GIS, 19(6), 822–843.
6. Hawelka B. et al. (2014) Geo-located Twitter as proxy for global mobility patterns. Cartography and Geographic Information Science, 41(3), 260–271.
7. Khan G.F. (2015) Seven Layers of Social Media Analytics: Mining Business Insights from Social Media Text, Actions, Networks, Hyperlinks, Apps, Search Engine, and Location Data. CreateSpace Independent Publishing Platform.
8. Kitchin R. (2014) The real-time city? Big data and smart urbanism. GeoJournal, 79(1), 1–14.
9. Lazer D. et al. (2009) Computational Social Science. Science, 323(5915), 721–723.
10. Shelton T. et al. (2015) Social media and the city: Rethinking urban socio-spatial inequality using user-generated geographic information. Landscape and Urban Planning, 142, 198–211.
11. Steiger E. et al. (2015) Twitter as an indicator for whereabouts of people? Correlating Twitter with UK census data. Computers, Environment and Urban Systems, 54, 255–265.
12. Thakur G.S. et al. (2018) Understanding Cities through Analysis of Social Media Data and Simulation. In: Rao P. et al. (eds) Social Sensing and Big Data Computing for Disaster Management. Springer, Cham.
13. Wang Y. et al. (2016) Urban human mobility: Data-driven modeling and prediction. SIGKDD Explorations, 18(2), 19–35.
14. Wu L. et al. (2014) Intra-urban human mobility and activity transition: Evidence from social media check-in data. PloS ONE, 9(5), e97010.
15. Zheng Y. et al. (2014) Urban Computing: Concepts, Methodologies, and Applications. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 5(3), 1–55.

© Яровиков Андрей Сергеевич (Yarovikov88@ya.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.01

ЧАСТОТА МЕСТНЫХ РЕЦИДИВОВ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ PT (IS,1,2) N0-1M0 И ИХ ЗАВИСИМОСТЬ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЛЕЧЕНИЯ

LOCAL RECURRENCE RATES OF BREAST CANCER PT (IS,1,2) N0-1M0 AND THEIR DEPENDENCE ON DIFFERENT TREATMENT MODALITIES

F. Akhmetzyanov
L. Ankhimova
R. Akhmetzyanova

Summary. Breast cancer (BC) is a heterogeneous disease requiring an individualized approach to treatment. Non-combinatorial methods, such as surgical intervention combined with hormone therapy, play an essential role in controlling early stages of the disease. This article presents a review of key studies and their results in the field of non-combinatorial therapy for BC without postoperative radiation therapy.
We conducted a retrospective analysis of medical records of patients with pT(is,1,2) N0-1M0 treated at the Republic Clinical Oncology Dispensary from 2012 to 2022. Our findings demonstrated that in the case of small tumors measuring up to 1 cm in diameter and undergoing organ-saving surgery (OSO) with classic axillary lymphadenectomy (ALAE), consideration may be given to omitting postoperative radiation therapy (PORT) in patients over 55 years of age with estrogen receptor (ER) and/or progesterone receptor (PR) positivity and negative HER2, followed by prolonged hormone therapy. Results from patient surveys using the SF-36 scale indicated an improvement in quality of life and cosmetic outcomes.

Keywords: breast cancer, organ-preserving surgeries, radiation therapy.

Ахметзянов Фоат Шайхутдинович
доктор медицинских наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет»;
руководитель хирургических клиник,
ЛДК2 ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер» МЗ РТ, г. Казань
akhmetzyanov@mail.ru
Анхимова Любовь Евгеньевна
Аспирант, ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет»;
врач-онколог,
ГАУЗ «ГКБ №7 МЗ РТ им. М.Н. Садыкова», г. Казань
luba.anhimova@mail.ru
Ахметзянова Резеда Фоатовна
врач-онколог, ГАУЗ «Республиканский клинический онкологический диспансер» МЗ РТ, г. Казань
rezeda_md@mail.ru

Аннотация. Рак молочной железы (РМЖ) — это гетерогенное заболевание, требующее индивидуализированного подхода к лечению. Некомбинированные методы, такие как хирургическое вмешательство в сочетании с гормонотерапией, играют важную роль в контроле над ранними стадиями заболевания. Представлен обзор ключевых исследований и их результатов в области некомбинированной терапии РМЖ без послеоперационного лучевого компонента.
Нами проведен ретроспективный анализ медицинских карт пациенток pT(is,1,2)N0-1M0, пролеченных на базе ГАУЗ РКОД МЗ РТ в период с 2012–2022 гг. Результаты исследования показали, что при малом размере опухоли до 1 см в диаметре и выполнении ОСО в объеме радикальной резекции с классической ЛАЭ, возможно рассмотрение вопроса об исключении проведения ПОЛТ у пациенток старше 55 лет с наличием ЭР и/или ПР и отрицательным HER2 с дальнейшей длительной ГТ. По результатам анкетирования по шкале SF-36 отмечается улучшение качества жизни и косметических результатов.

Ключевые слова: рак молочной железы, органосохраняющие операции, лучевая терапия.

Введение

Рак молочной железы (РМЖ) является одним из наиболее распространенных онкологических заболеваний во всем мире [1].

В России заболеваемость и смертность от РМЖ составляют 22,5 % и 15,9 %, соответственно [2].

Частота местных рецидивов раннего рака молочной железы (РРМЖ) является важным показателем, который может варьироваться в зависимости от методов лечения. Исследования, в которых оценивается эффективность органосохраняющих операций (ОСО) без послеоперационной лучевой терапии (ПОЛТ) при РРМЖ, требуют дифференцированного подхода, поскольку стандартом лечения для большинства пациенток с ранними стадиями является комбинация ОСО и ПОЛТ.

Результаты исследования CALGB 9343, включавшего 636 женщин (возраст ≥ 70 лет), у которых была клиническая стадия I РМЖ (T1N0M0 по классификации TNM) с положительным эстрогеновым рецептором (ER), пролеченных операцией лампэктомией, продемонстрировали, что в группе пациенток ПОЛТ с добавлением тамоксифена (317 женщин) — в 98 % не имели локальных и региональных рецидивов, в группе без ПОЛТ с тамоксифеном — 90 %. Между двумя группами не было существенных различий по отдаленным метастазам и выживаемости без прогрессирования или общей выживаемости [3].

Исследование PRIME II с аналогичным лечением показало сопоставимые результаты через 10 лет: частота рецидивов опухоли молочной железы на той же стороне составила 0,9 % при ПОЛТ и 9,8 % — без нее [4].

Молекулярно-определяемые подтипы РМЖ могут предоставить дополнительную информацию по выявлению групп низкого риска, прогноз которых настолько благоприятен, по крайней мере в контексте адекватной гормонотерапии (ГТ), что ПОЛТ не может принести существенной дополнительной пользы [5, 6].

Проспективное когортное одногрупповое исследование LUMINA, включавшего 501 пациентку РРМЖ T1N0, критериями которого были: перенесшие ОСО, возраст свыше 55 лет, 1-й или 2-й степени дифференцировки с люминальным подтипом А (ER+/PR+/HER2— с Ki67<13,25 %), показало частоту локального рецидивирования без ПОЛТ в течение 5 лет — 2,3 % (90 % ДИ 1,3–3,8) [7].

В таком же многоцентровом исследовании IDEA, с участием женщин РРМЖ низкого риска, но с помощью показателя OncotypeDx ≤18, частота рецидивов за 5 лет у 200 пациенток составила в возрасте 50–59 лет и 60–69 лет 3,3 % и 3,6 % соответственно [8].

Аналогичным является клиническое исследование III фазы EXPERT [9].

Приведем информацию по продолжающимся проспективным одногрупповым аналогичным исследованиям PRECISION, PRIMETIME, DEBRA.

По исследованию II фазы PRECISION, с использованием центрального транскрипционного профилирования PAM50 с помощью анализа Prosigna, у 382 пациенток с ROR ≤ 40, соответствующему люминальному подтипу А, частота локорегионарных рецидивов за 2 года составила 0,3 % (95 % ДИ: 0–1,0 %) [10].

В исследовании PRIMETIME, использующим прогностический алгоритм на основе иммуногистохимии IHC4 + Clinical (IHC4 + C), являющийся показателем вероятности рецидива и объединяющий экспрессию белков тройных рецепторов и Ki-67 с учетом клинических данных (возраст, размер опухоли, состояние лимфатических узлов, степень злокачественности опухоли и ГТ тамоксифеном или анастрозолом), пациенты разделены на четыре категории по риску развития рецидива: очень низкий, низкий, средний и высокий. Пациентам с «очень низким» риском, согласно IHC4+C, будет рекомендовано отказаться от лучевой терапии, а с «низким», «средним» или «высоким» — предположительно будет рекомендована лучевая терапия [11]. В предварительной информации по данному исследованию критерии категорий риска рецидива не уточняются.

Исследование DEBRA — текущее исследование III фазы, в котором пациенты рандомизированы для получения ГТ с ПОЛТ или без неё. Женщины, включенные в это исследование в возрасте 50–70 лет с РМЖ T1N0, положительным на гормональные рецепторы и HER2— с онкотипом <18, составляют окончательную группу для рандомизации из 1670 пациенток [12].

Альтернативная стратегия выявления кандидатов на деинтенсификацию ЛТ основана на визуализации с помощью магнитно-резонансной томографии (МРТ). 443 женщины в исследовании PROSPECT с РМЖ cT1N0 были включены в исследование и прошли предоперационную МРТ, частота инвазивных рецидивов через 5 лет составила 1,0 % в группе, проходившей только ОСО, по сравнению с 1,7 % у женщин, проходивших стандартное лечение, включавшее резекцию и ПОЛТ [13].

Как и в случае с инвазивным раком, при выполнении ОСО при протоковой карциноме in situ (DCIS), роль ПОЛТ была поставлена под сомнение. В исследовании Ф.Вичини с соавторами, при использовании теста DCISionRT DCIS с 10-летней оценкой риска рецидива/прогрессирования у 926 пациенток с сохранением молочной железы, не было выявлено существенной разницы при низком риске с проведением или без ПОЛТ (p <0.001) [14-16].

В ФГБОУ ВО «Казанский ГМУ» МЗ РФ в 2022 г. был утвержден протокол научно-исследовательской работы «Оптимизация органосохраняющего лечения рака молочной железы».

Целью настоящего ретроспективного исследования явилось изучение частоты возникновения местных рецидивов РРМЖ pT(is,1,2) N0-1M0 и их зависимости от вида проводимого лечения.

Материалы и методы

Проведен ретроспективный анализ медицинских карт (n = 415) пациенток РМЖ pTis-1-2N0-1M0, пролеченных на базе ГАУЗ РКОД МЗ РТ в период с 2012–2022 гг.

В исследование были включены больные в возрасте от 27 до 88 лет. Средний возраст пациенток на момент первичного (хирургического) лечения в обеих группах составил 58,1 года (в I группе — 55,3, во II группе — 60,54). Характеристика пациенток представлена в таблице 1.

Критериями включения в исследование были перенесшие ОСО+ГТ с наличием рецепторов к эстрогену (ЭР) и/или к прогестерону (ПР) и HER2-отрицательным статусом. Они разделены на 2 группы: 1 группа — (n = 192, 46,3 %) человека — получали ПОЛТ, 2 группа — (n = 223, 53,7 %) не получали из-за: 132 (59,2 %) — неявки на следующий этап лечения, 33 (14,8 %) — малых размеров опухоли; 58 (26,0 %) — на основании консилиума в связи с возрастом пациенток свыше 70 лет.

Пациенткам были проведены два вида ОСО: секторальная резекция с подмышечной, подключичной, подлопаточной ЛАЭ у 62 (14,9 %), радикальная резекция с подмышечной, подключичной, подлопаточной ЛАЭ — у 353 (85,1 %).

ПОЛТ была выполнена в режимах РОД 2 Гр СОД 50 Гр у 185 пациенток (96,4 %), РОД 2,66 Гр СОД 42,56 Гр (изоэффективная доза 50 Гр) — у семи (3,6 %).

Препаратами выбора при назначении пациентам ГТ явились — тамоксифен или анастрозол.

Критериями исключения были пациентки после нерадикального хирургического лечения (R1).

Для оценки косметического дефекта нами была разработана соответствующая шкала (табл. 2) и проведен опрос пациенток в форме анкетирования с использованием опросника SF36, получивших лечение в период 01.09.2022-31.12.2022 (n=53, из них ОСО+ПОЛТ — n=47, ОСО — n=6), с целью оценки качества жизни и осложнений после проведенного лечения с или без ПОЛТ. Оценка результатов и их интерпретация выполнялась следующим образом: отличный — 20–25 баллов — результат, демонстрирующий максимальную удовлетворенность пациенткой оперативным вмешательством и отсутствием ограничения деятельности; хороший — 13–19 баллов — результат, демонстрирующий незначительный дискомфорт в области косметического дефекта или наличие незначительных ограничений деятельности; удовлетворительный — 6–12 баллов — результат, демонстрирующий значительный дискомфорт в области косметического дефекта и наличие значительных ограничений деятельности; неудовлетворительный — 0-5 баллов — результат, демонстрирующий полное неудовлетворение оперативным вмешательством.

Таблица 1.

Характеристика пациенток

Характеристика пациенток	Категории	Виды лечения	
		ОСО+ПОЛТ (n=192, 46,3%)	ОСО (n=223, 53,7 %)
Возраст, лет	Средний возраст	55,3 (32–87)	60,54 (27–88)
Локализация опухоли МЖ, абс. (%%)	C50.0	1 (0,5 %)	2 (0,9 %)
	C50.1	13 (6,8 %)	16 (7,2 %)
	C50.2	25 (13,0 %)	19 (8,5 %)
	C50.3	6 (3,1 %)	7 (3,1 %)
	C50.4	136 (70,8 %)	153 (68,6 %)
	C50.5	11 (5,7 %)	26 (11,7 %)
Сторона поражения, абс. (%%)	Слева	106 (55,2 %)	126 (56,5 %)
	Справа	86 (44,8 %)	97 (43,5 %)
TNM, абс. (%%)	is00	22 (11,4 %)	20 (9,0 %)
	100	119 (62,0 %)	138 (61,9 %)
	110	12 (6,3 %)	20 (9,0 %)
	200	34 (17,7 %)	41 (18,4 %)
	210	5 (2,6 %)	4 (1,8 %)
Стадия, абс. (%%)	0is	22 (11,4 %)	20 (9,0 %)
	1	119 (62,0 %)	138 (61,9 %)
	2	51 (26,6 %)	65 (29,1 %)
Размер опухоли, абс. (%%)	до 0,5 см	18 (9,4 %)	10 (4,5 %)
	1 см	56 (29,2 %)	85 (38,1 %)
	1,5 см	37 (19,3 %)	45 (20,2 %)
	2 см	35 (18,2 %)	36 (16,1 %)
	2,5 см	43 (22,4 %)	44 (19,7 %)
	3 см	2 (1,0 %)	0 (0,0 %)
	3,5 см	0 (0,0 %)	1 (0,4 %)
	4 см	0 (0,0 %)	1 (0,4 %)
	4,5 см	0 (0,0 %)	1 (0,4 %)
	5 см	1 (0,5 %)	0 (0,0 %)

Характеристика пациенток	Категории	Виды лечения	
		ОСО+ПОЛТ (n=192, 46,3%)	ОСО (n=223, 53,7 %)
Гистотип опухоли, абс. (%%)	Внутрипроток. инвазивный	133 (69,3 %)	175 (78,5 %)
	Внутрипроток. неинвазивный	19 (9,9 %)	23 (10,3 %)
	Дольк. инвазивный	25 (13,0 %)	21 (9,4 %)
	Дольк. неинвазивный	3 (1,6 %)	1 (0,4 %)
	Проток. и дольк. инвазивный	10 (5,2 %)	2 (0,9 %)
	Проток. и дольк. неинвазивный	2 (1,0 %)	1 (0,4 %)
Иммуногистотип, абс. (%%)	Люминальный А	106 (55,2 %)	183 (82,1 %)
	Люминальный В, негативный	86 (44,8 %)	40 (17,9 %)

Примечание. МЖ — молочная железа, Клас. ЛАЭ — классическая лимфаденэктомия, Рад. рез. — радикальная резекция, Сек. рез. — секторальная резекция, Внутрипроток. — внутрипротоковый рак, Дольк. — дольковый рак, Проток. — протоковый рак

Таблица 2.

Шкала оценки косметического дефекта

Есть ли у Вас ограничения в повседневной деятельности в связи с наличием послеоперационного рубца?	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
Появилось ли чувство изоляции в связи с проведенной операцией?	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
Есть ли у Вас стеснение своего внешнего вида?	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
Есть ли у Вас болевые ощущения в области послеоперационного рубца?	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
Как Вы оцениваете косметический результат?	1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов

Анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.7.2 (разработчик — ООО «Статтех», Россия), библиотеки Pandas для Python. Сравнение процентных долей при анализе многопольных и четырехпольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона (при значениях ожидаемого явления более 10), для четырехпольных таблиц — точного критерия Фишера (при значениях ожидаемого явления менее 10). В качестве количественной меры эффекта при сравнении относительных показателей рассчитывалось отношение шансов с 95 % доверительным интервалом (ОШ; 95 % ДИ). Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$. Сравнение двух групп по количественному показателю (анкетирование), распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

За 10-летний период при медиане наблюдения 77,5 мес., в группе комплексного лечения (ОСО+ПОЛТ+ГТ) местный рецидив был диагностирован у 31 пациентки (16,1 %): у 28 (17,1 %) — в области соска при наличии внутрипротокового компонента, у трех (10,7 %) — на месте опухоли при дольковом раке. В группе комбинированного лечения (ОСО+ГТ) местный рецидив был диагностирован у семи пациенток (3,1 %): с наличием внутрипротокового компонента у шести (3,0 %) рецидив располагался у соска, у одного (4,5 %) при дольковом раке на месте опухоли ($p < 0,05$).

При исследовании зависимости локальных рецидивов в группах ОСО+ПОЛТ+ГТ и ОСО+ГТ от возраста рецидивы наблюдались: в 1 группе — до 55 лет — у 17 из 87 (19,5 %), после 55 лет — у 14 из 105 (13,3 %), во 2 группе — до 55 лет — у троих из 74 (4,1 %), после 55 лет — четырех из 149 (2,7 %) ($p<0,05$).

При оценке иммунофенотипов опухоли в зависимости от рецидивов и возраста в группе ОСО+ПОЛТ+ГТ рецидивы были: Люминальный А — у 18 из 106 (17 %) из них до 55 лет — у 10 из 48 (20,8 %), старше 55 — у восьми из 58 (13,8 %), Люминальный В-негативный — у 13 из 86 (15,1 %) из них до 55 лет — у семи из 39 (17,9 %), старше 55 — у шести из 47 (12,8 %). При оценке иммунофенотипов опухоли в зависимости от рецидивов и возраста в группе ОСО+ГТ рецидивы были: Люминальный А — у 5 из 183 (2,7 %) из них до 55 лет — у двух из 67 (3 %), старше 55 — у трех из 116 (2,6 %), Люминальный В-негативный — у двух из 40 (5 %) из них до 55 лет — у одной из 7 (14,3 %), старше 55 — у одной из 33 (3 %) ($p<0,05$).

При сравнении зависимости возникновения рецидивов от TNM в группах ОСО+ПОЛТ+ГТ и ОСО+ГТ рецидивы определены: в 1 группе — TisN0M0 — у шести из 22 пациенток (27,3 %), T1N0M0 — у 18 из 119 (15,1 %), T1N1M0 — у двух из 12 (16,7 %), T2N0M0 — у четырех из 34 (11,8 %), T2N1M0 — у одной из пяти (20 %); во 2 группе — TisN0M0 — у трех из 20 пациенток (15 %),

T1N0M0 — у трех из 138 (2,2 %), T1N1M0 — у 20 пациенток рецидивы отсутствовали, T2N0M0 — у 1 из 41 (2,4 %), T2N1M0 — у четырех пациенток рецидивы отсутствовали (p>0,05).

При оценке зависимости местных рецидивов от размера опухоли в группе ОСО+ПОЛТ+ГТ рецидивы встречались в случаях — до 0,5 см — у пяти из 18 (27,8 %), 0,5–1 см — у восьми из 56 (14,3 %), 1–2 см — у 10 из 72 (13,9 %), 2,1–5 см — у восьми из 46 (17,4 %), в группе ОСО+ГТ — до 0,5 см — у одной из 10 (10 %), 0,5–1 см — у двоих из 85 (2,4 %), 1–2 см — у двоих из 81 (2,5 %), 2,1–5 см — у двоих из 47 (4,3 %) (p<0,05).

При анализе зависимости рецидива от объема оперативного вмешательства в группах: в 1 группе распределение рецидивов было следующим — при радикальной резекции с классической ЛАЭ — 22 из 153 (14,4 %), при секторальной резекции с классической ЛАЭ — 9 из 39 (23,1 %); во 2 группе — наблюдались рецидивы при радикальной резекции с классической ЛАЭ — у пяти из 200 (2,5 %) и при секторальной резекции с классической ЛАЭ — у двух из 23 (8,7 %) (p<0,05).

При анализе результатов анкетирования в группах ОСО+ПОЛТ+ГТ и ОСО+ГТ по шкале SF36 были значимы показатели p <0,05: ролевое функционирование, обусловленное физическим состоянием, интенсивность боли, жизненная активность, социальное функционирование, психическое здоровье; при сравнении групп по шкале оценки косметического дефекта p <0,05.

Таким образом, онкологические результаты в исследуемых группах имели статистически значимые различия (p <0,05).

Обсуждения

Представленные исследования выявляют важные тренды в лечении РРМЖ. Разнообразие терапии и подходов демонстрирует возможность индивидуализированного выбора стратегии с исключением ПОЛТ из плана лечения у пациентов с факторами низкого риска местного и регионарного рецидивирования.

Результаты нашего исследования показали, что при РРМЖ T1-2N0-1M0 старше 55 лет с наличием ЭР и/или ПР и отрицательным HER2 при малом размере опухоли до 1 см и выполнении оперативного вмешательства в объеме радикальной резекции с классической ЛАЭ, возможно рассмотрение вопроса об исключении проведения ПОЛТ после ОСО при условии дальнейшей длительной ГТ. Результаты анкетирования продемонстрировали, что исключение ПОЛТ улучшает качество жизни и косметические результаты.

Выводы

Некомбинированная терапия при РРМЖ представляет собой важное и развивающиеся направление онкологии, требующее дальнейшего изучения и понимания молекулярных механизмов с целью оптимизации лечения для повышения качества жизни с сохранением общей выживаемости пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Siegel R.L., Giaquinto A.N., Jemal A. Cancer statistics, 2024 // CA: a Cancer journal for clinicians. 2024. №74 (1). P. 12–49.
2. Каприн А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О. Злокачественные образования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). М: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. 276 с.
3. Lumpectomy plus tamoxifen with or without irradiation in women aged 70 years or older with early breast cancer: long-term follow-up of CALGB 9343 / Hughes K.S. [et al.] // J Clin Oncol. 2013. №31 (19). P. 2382–7.
4. Abstract GS2-03: Prime 2 randomised trial (postoperative radiotherapy in minimum-risk elderly): Wide local excision and adjuvant hormonal therapy +/− whole breast irradiation in women =/> 65 years with early invasive breast cancer: 10-year results / Kunkler I.H. [et al.] // Cancer Res. 2021. №81. P. GS2-03.
5. Recent advances in optimizing radiation therapy decisions in early invasive breast cancer / Riaz N. [et al.] // Cancers. 2023. №15(4). P. 1260.
6. Abstract P6-04-02: Ki67 Assessment Protocol: Companion Diagnostic Biomarker for LUMINA Prospective Cohort Study / Nielson T. [et al.] // Cancer Research. 2023. №83. P. P6-04–02-P6-04–02.
7. Re-Evaluating the Omission of Radiation Therapy in Low-Risk Patients with Early-Stage Breast Cancer / Almeida N.D. [et al.] // Clin Breast Cancer. 2024. №24 (7). P. 563–574.
8. Omission of radiotherapy after breast-conserving surgery for women with breast cancer with low clinical and genomic risk: 5-year outcomes of IDEA / Jagsi R. [et al.] // J Clin Oncol. 2024. №42 (4). P. 390–398.
9. Examining personalised radiation therapy for low-risk early breast cancer (EXPERT). Available online: https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02889874. — (accessed on 1 December 2022).
10. Abstract OT1-12-02: preliminary report of the PRECISION trial (profiling early breast cancer for radiotherapy omission): a phase II study of breast-conserving surgery without adjuvant radiotherapy for favorable-risk breast cancer / Braunstein L. Z. [et al.] // Cancer Research. 2023. № 83. P. OT1-12–02-OT1-12–02.
11. It's PRIMETIME. Postoperative avoidance of radiotherapy: biomarker selection of women at very low risk of local recurrence / Kirwan C.C. [et al.] // Clinical Oncology. 2016. № 9. P. 594–596.
12. Abstract OT1-12-01: a phase III trial evaluating De-escalation of breast radiation (DEBRA) following breast-conserving surgery (BCS) of stage 1, HR+, HER2-, RS≤ 18 breast cancer: NRG-BR007 / White J. [et al.] // Cancer Research. 2023. № 83. P. OT1-12–01-OT1-12–01.

13. Postoperative radiotherapy omission in selected patients with early breast cancer following preoperative breast MRI (PROSPECT): primary results of a prospective two-arm study / Mann G.B. [et al.] // Lancet. 2024. №403(10423). P. 261–270.
14. A biological signature for breast ductal carcinoma in situ to predict radiotherapy benefit and assess recurrence risk. /Bremer T. [et al.] // Clin Cancer Res. 2018. №24(23). P. 5895–5901.
15. Validation of a ductal carcinoma in situ biomarker profile for risk of recurrence after breast-conserving surgery with and without radiotherapy / Weinmann S. [et al.] // Clin Cancer Res. 2020. № 26(15). P. 4054–4063.
16. A novel biosignature identifies patients with DCIS with high risk of local recurrence after breast conserving surgery and radiation therapy / Vicini F.A. [et al.] // Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2023. № 115(1). P. 93–102.

© Ахметзянов Фоат Шайхутдинович (akhmetzyanov@mail.ru); Анхимова Любовь Евгеньевна (luba.anhimova@mail.ru);
Ахметзянова Резеда Фоатовна (rezeda_md@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.02

КЛИНИКО-АНАМНЕСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПАЦИЕНТОК С ПОЛИПАМИ ЭНДОМЕТРИЯ И ГИПЕРПЛАЗИЕЙ ЭНДОМЕТРИЯ

CLINICAL AND ANAMNESTIC FEATURES OF PATIENTS WITH ENDOMETRIAL POLYPS AND ENDOMETRIAL HYPERPLASIA

Yu. Bogomolova
A. Milekhina
E. Korotkevich
G. Pokrovsky

Summary. Hyperplastic processes of the endometrium (HPE) occupy one of the leading places in the structure of gynecological morbidity. This study examined the anamnestic and clinical characteristics of patients in the Tver region with endometrial polyps (EP) and endometrial hyperplasia (EH). Complaints, obstetric and gynecological history data, the presence of concomitant extragenital pathology were analyzed, height, weight, and waist circumference were measured in women who underwent hysteroresectoscopy or hysteroscopy with curettage of the uterine cavity. Based on the results of histological examination, 3 groups were identified: group 1 — 32 patients with EP; group 2 — 17 women with EH; group 3 — 14 patients whose morphological description of the endometrium corresponded to the norm (control group). It was revealed that patients with EP were 7 times more likely to have a history of chronic inflammatory diseases of the vagina and cervix, compared to healthy women ($p < 0.05$). Patients with EH are 1.8 times more likely to have obesity ($p<0.05$ compared to healthy women), 2.8 times more likely to have a history of EH, waist circumference is 18.1 cm larger, body mass index (BMI) is 5.5 kg/m^2 greater ($p<0.05$ compared to women with EP). Diabetes mellitus was present in 28.1–29.4 % of patients with GPE and was not found in patients in the control group ($p<0.05$). Thus, timely prevention of GPE should include treatment of chronic inflammatory diseases of the female reproductive system, correction of anovulatory conditions, treatment of diabetes mellitus and therapeutic lifestyle modification to reduce body weight.

Keywords: endometrial polyp, endometrial hyperplasia, abnormal uterine bleeding, hyperestrogenism, postmenopause.

Богомолова Юлия Алексеевна
ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет
Yuliya-botvineva@yandex.ru
Милехина Анна Андреевна
ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет
annaandreevna1194@gmail.com
Короткевич Екатерина Николаевна
ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет
yek.korotckevich@yandex.ru
Покровский Георгий Алексеевич
ФГБОУ ВО Тверской государственный медицинский университет
vasyaman05@mail.ru

Аннотация. Гиперпластические процессы эндометрия (ГПЭ) занимают одно из ведущих мест в структуре гинекологической заболеваемости. В данном исследовании изучались анамнестические и клинические характеристики пациенток Тверской области с полипами эндометрия (ПЭ) и гиперплазией эндометрия (ГЭ). Анализировались жалобы, данные акушерско-гинекологического анамнеза, наличие сопутствующей экстрагенитальной патологии, производились измерения роста, веса, окружности талии у женщин, которым была проведена гистерорезектоскопия или гистекроскопия с выскабливанием полости матки. По результатам гистологического исследования выделено 3 группы: 1 группа — 32 пациентки с ПЭ; 2 группа — 17 женщин с ГЭ; 3 группа — 14 пациенток, у которых морфологическое описание эндометрия соответствовало норме (группа контроля). Выявлено, что пациентки с ПЭ в 7 раз чаще в анамнезе страдали хроническими воспалительными заболеваниями влагалища и шейки матки, по сравнению со здоровыми женщинами ($p <0,05$). У пациенток с ГЭ в 1,8 раза чаще имеется ожирение ($p <0,05$ по сравнению со здоровыми женщинами), в 2,8 раза чаще ГЭ в анамнезе, окружность талии больше на 18,1 см, индекс массы тела (ИМТ) больше на 5,5кг/м^2 ($p <0,05$ по сравнению с женщинами с ПЭ). Сахарный диабет был у 28,1–29,4 % пациенток с ГПЭ и не встречался у пациенток контрольной группы ($p <0,05$). Таким образом, своевременная профилактика ГПЭ должна включать лечение хронических воспалительных заболеваний женского репродуктивного тракта, коррекцию ановуляторных состояний, лечение СД и терапевтическую модификацию образа жизни с целью снижения массы тела.

Ключевые слова: полип эндометрия, гиперплазия эндометрия, аномальные маточные кровотечения, гиперэстрогения, постменопауза.

Введение

Изучение гиперпластических процессов эндометрия (ГПЭ) имеет высокую значимость в современной гинекологии ввиду их связи с аномальными маточными кровотечениями (АМК), бесплодием и риском злокачественного преобразования. Это особенно актуально для женщин в пери- и постменопаузе, где такие состояния становятся более частыми и требуют своевременной диагностики и, при необходимости, оперативного вмешательства. В то же время данные патологии встречаются и у женщин репродуктивного возраста, что подчеркивает важность разработки щадящих методов диагностики и лечения, сохраняющих репродуктивный потенциал [1]. Полип эндометрия (ПЭ) — доброкачественное очаговое образование слизистой оболочки матки, состоящее из желез, фиброзированной стромы и сосудов [2]. Точная причина возникновения ПЭ пока неизвестна. В формировании полипов могут играть роль молекулярные механизмы, такие как повышенная активность ароматазы, факторы роста (TGF-бета, VEGF), белок BCL-2 и генетическая предрасположенность [3, 4]. Факторами риска развития ПЭ считают перименопаузу, ожирение, артериальная гипертензия (АГ), терапию тамоксифеном, длительный прием менопаузальной гормональной терапии в циклическом режиме [2, 5]. Также есть связь между хроническим эндометритом и формированием ПЭ [6]. Несмотря на то, что большинство полипов имеют доброкачественный характер, злокачественная трансформация возможна в 0–13 % случаев, причем риск повышается с возрастом пациентки и зависит от менопаузального статуса [1, 4]. Распространенность злокачественных ПЭ у женщин в постменопаузе с симптомами составляет 4,5 %, тогда как у бессимптомных пациенток — 1,5 %. К факторам риска озлокачествления ПЭ относятся возраст старше 60 лет, большие размеры полипов, АМК, менопауза и синдром поликистозных яичников (СПЯ) [1, 3, 7]. ГЭ — патологический процесс эндометрия, характеризующийся пролиферацией желез и увеличением железисто-стромального соотношения. [8]. Согласно исследованиям, ГЭ встречается у 15 % женщин в пери- и постменопаузе, преимущественно в возрасте 50–60 лет, и у 1,3 % женщин репродуктивного возраста [3, 7]. Основной причиной развития ГЭ является гиперэстрогения [9]. Факторами риска развития ГЭ считаются: СПЯ, фаза менопаузального перехода, монотерапия эстрогенами или тамоксифеном, ожирение, АГ, сахарный диабет (СД) 2 типа, синдром Линча, эстроген-секретирующие опухоли яичников [9]. Риск развития рака эндометрия на фоне ГЭ без атипии в течение 20 лет — 5 %, при ГЭ с атипией риск повышается до 27,5 % [10].

Таким образом, ПЭ и ГЭ остаются значимыми патологиями, требующими углубленного изучения. Учитывая их связь с риском злокачественного перерождения и влиянием на репродуктивное здоровье, дальнейшие исследования необходимы для более точного понимания механизмов их развития, факторов риска и оптимальных методов диагностики и лечения.

Цель исследования

Изучить клинические и анамнестические характеристики женщин с ГЭ и ПЭ.

Материал и методы

Обследовано 63 пациентки, поступившие в гинекологическое отделение «Областной клинической больницы» г. Твери в 2023–2024 годах для проведения гистерорезектоскопии или гистероскопии с выскабливанием полости матки в плановом порядке. Показаниями для проведения операций были АМК и/или признаки патологии эндометрия по данным УЗИ. Анализировались жалобы, данные акушерско-гинекологического анамнеза, наличие сопутствующей экстрагенитальной патологии, производились измерения роста, веса, окружности талии, расчет индекса массы тела (ИМТ). На основе результатов гистологического исследования соскоба эндометрия пациентки были разделены на 3 группы: 1 группа — 32 пациентки с ПЭ; 2 группа — 17 женщин с ГЭ; 3 группа — 14 пациенток, у которых морфологическое описание эндометрия соответствовало норме (группа контроля).

Статистический анализ данных проводился с помощью программы Excel, сравнение выборочных средних проводилось по t-критерию Стьюдента, выборочных долей — по критерию хи-квадрат или точному двустороннему критерию Фишера.

Результаты и обсуждения

Средний возраст пациенток группы ПЭ составил 57,0±11,5 лет, группы ГЭ — 59,9±6,3 года, контрольной группы — 65,1±11,1 лет ($p>0,05$). АМК являются одним из наиболее частых клинических проявлений как при ПЭ, так и при ГЭ [2, 5]. Жалобы на АМК чаще отмечались у женщин с ГЭ — у 58,8 % (n=10), у пациенток с ПЭ и в контрольной группе АМК были у 34,4 % (n=11) и 42,7 % (n=6) соответственно ($p>0,05$). Медиана продолжительности менструального цикла составила 29 дней в группе ПЭ и 30 дней в группе ГЭ и контрольной группе ($p>0,05$), что укладывается в нормальный диапазон.

К факторам риска развития ГЭ относят раннее менархе или позднюю менопаузу [9]. Медиана возраста менархе не различалась между группами пациенток с ГПЭ и контрольной группой и составила: в группе ПЭ — 12 лет, в группе ГЭ — 12 лет, в контрольной группе — 13 лет ($p>0,05$).

Среди обследованных женщин 82,5 % (n=52) находились в постменопаузе. Средний возраст наступления менопаузы составил в группе ПЭ — 50,3±4,3 года, в группе ГЭ — 51,1±2,3 года, в контрольной группе — 51,6±3,3 года (p>0,05), что соответствует норме для умеренного климата [7, 11].

Распространенность ПЭ и ГЭ увеличивается в пери— и постменопаузе, что связано с изменением функции яичников и качественными трансформациями секретируемых эстрогенов [4, 11, 12]. ГЭ в анамнезе встречалась у 52,9 % (n=9) пациенток группы ГЭ, 18,8 % (n=6) — группы ПЭ, 28,6 % (n=4) — в контрольной группе. Таким образом, ГЭ в анамнезе встречалась в 2,8 раза чаще у пациенток группы ГЭ, по сравнению с пациентками с ПЭ (p <0,05). ПЭ в анамнезе встречался у пациенток группы ПЭ — 59,4 % (n=18), у 29,4 % (n=5) пациенток с ГЭ, у 42,9 % (n=6) — в контрольной группе (p>0,05). То есть, ПЭ в анамнезе в 2,0 раза чаще встречается у женщин группы ПЭ, по сравнению с женщинами группы ГЭ (p>0,05), что может быть связано с рецидивом ПЭ после оперативного лечения с неполным удалением сосудистой ножки [13].

ПЭ и ГЭ часто ассоциированы с миомой матки и эндометриозом [11, 14, 15]. Миома матки встречалась у 56,3 % (n=18) пациенток группы ПЭ, у 52,9 % (n=9) пациенток группы ГЭ, у 21,4 % (n=3) женщин контрольной группы (p>0,05). Аденомиоз встречался у 37.5 % (n=12) пациенток группы ПЭ, у 47,1 % (n=8) пациенток группы ГЭ, у 21,4 % (n=3) женщин контрольной группы (p>0,05). Таким образом, миома матки и аденомиоз встречались в 2,2–2,6 раза чаще у пациенток с ГПЭ, но данное различие статистически недостоверно (p>0,05).

СПЯ, является фактором риска развития ГЭ, так как является причиной развития гиперэстрогении яичникового происхождения и связан с недостаточным воздействием прогестерона на эндометрий из-за нарушений овуляции и стероидогенеза [3, 11, 19]. СПЯ, встречался у 3,1 % (n=1) пациенток группы ПЭ, у 23,5 % (n=4) пациенток с ГЭ, не встречался у женщин контрольной группы (p>0,05).

Воспалительные процессы женского генитального тракта также вносят вклад в развитие ГПЭ. Повреждение или инфекция вызывают нарушение метаболических процессов, гипоксию и активацию провоспалительного каскада. Это приводит к изменению синтеза цитокинов, что влияет на пролиферацию и апоптоз клеток [16]. Хронические цервициты и вагиниты встречались у 50,0 % (n=16) пациенток группы ПЭ, у 23,5 % (n=4) пациенток группы ГЭ, у 7,1 % (n=1) женщин контрольной группы. То есть, частота хронических воспалительных заболевания влагалища и шейки матки в группе ПЭ была в 2,1 раза выше, чем в группе ГЭ (p>0,05) и в 7,0 раз выше, чем в контрольной группе (p <0,05).

Известными факторами риска ГПЭ являются АГ и СД [7, 12, 14]. Достоверных различий в частоте встречаемости АГ между группами пациенток в нашем исследовании не было выявлено. АГ встречалась у 59,4 % (n=19) женщин с ПЭ, у 88,2 % (n=15) — с ГЭ, у 64,3 % (n=9) женщин контрольной группы (p>0,05). СД был у 28,1 % (n=9) женщин с ПЭ, у 29,4 % (n=5) — с ГЭ и не встречался у пациенток контрольной группы (p<0,05 при сравнении контрольной группы с группой ПЭ и группой ГЭ).

Избыточная масса тела и ожирение способствуют увеличению превращения андростендиона в эстрон в жировой ткани, что приводит к гиперэстрогении и, как следствие, является фактором риска развития ГПЭ [17,18]. Эндокринно-метаболические нарушения, такие как ожирение и снижение толерантности к глюкозе, увеличивают риск развития рака эндометрия [7, 12, 19]. Ожирение диагностировано у 62,5 % (n=20) женщин с ПЭ, у 88,2 % (n=15) — с ГЭ, у 50,0 % (n=7) женщин контрольной группы. Таким образом, ожирение встречалось в 1,8 раза чаще у пациенток с ГЭ, чем в контрольной группе (p <0,05).

ИМТ в среднем составил: в группе ПЭ — 31,4±6,6 кг/м^2, в группе ГЭ — 36,9 ±7,5 кг/м^2, в контрольной группе — 34,1±12,1 кг/м^2. То есть, в среднем ИМТ у пациенток с ГЭ на 5,5 кг/м^2 больше, чем у пациенток с ПЭ (p <0,05). По сравнению с контрольной группой, различия статистически недостоверны.

Окружность талии более 80 см является показателем висцерального ожирения у женщин. В среднем окружность талии во всех группах превысила 80 см и составила: в группе ПЭ — 93,5 ±19,8 см, в группе ГЭ — 111,5±20,3 см, в контрольной группе — 96,4±23,6 см. То есть, в среднем окружность талии у пациенток с ГЭ на 18,1 см больше, чем у пациенток с ПЭ (p <0,05).

Выводы

1. Женщины с ПЭ в 7 раз чаще в анамнезе имели хронические воспалительные заболевания влагалища и шейки матки, по сравнению со здоровыми женщинами.
2. У пациенток группы ГЭ в 1,8 раза чаще имеется ожирение (по сравнению со здоровыми женщинами), в 2,8 раза чаще ГЭ в анамнезе, окружность талии больше на 18,1 см, ИМТ больше на 5,5кг/м^2 (по сравнению с женщинами с ПЭ).
3. СД был у 28,1–29,4 % пациенток с ГПЭ и не встречался у женщин контрольной группы (p <0,05).
4. Таким образом, своевременная профилактика ГПЭ должна включать в себя лечение хронических воспалительных заболеваний женского репродуктивного тракта, коррекцию ановуляторных состояний, адекватное лечение СД и терапевтическую модификацию образа жизни с целью снижения массы тела.

ЛИТЕРАТУРА

1. Davis E., Sparzak P.B. Abnormal Uterine Bleeding. 2023; Sep 4. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan–. PMID: 30422508.
2. Cree I.A., White V.A., Indave B.I., Lokuhetty D. Revising the WHO classification: female.genital tract tumours. Histopathology. 2020 Jan; 76(1): 151–156. DOI: 10.1111/his.13977.
3. Ring K.L., Mills A.M., Modesitt S.C. Endometrial hyperplasia. Obstetrics Gynecol. 2022; 140(6): 1061–1075. DOI:10.1097/AOG.0000000000004989
4. Механизмы патогенеза эндометриальных полипов у женщин репродуктивного возраста. Обзор литературы / М.Р. Оразов, Л.М. Михалева, О.Ф. Пойманова, И.А. Муллина // Гинекология. — 2022. — Т. 24, № 4. — С. 246–250. — DOI 10.26442/20795696.2022.4.201807. — EDN UYDXPD.
5. Tanos V., Berry K.E., Seikkula J., Abi Raad E., Stavroulis A., Sleiman Z., et al. The management of polyps in female reproductive organs. Int J Surg. 2017; 43: 7–16. DOI: 10.1016/j.ijsu.2017.05.012
6. Carvalho F.M., Aguiar F.N., Tomioka R., de Oliveira R.M., Frantz N., Ueno J. Functional endometrial polyps in infertile asymptomatic patients: a possible evolution of vascular changes secondary to endometritis. Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol. 2013; 170(1): 152–156. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2013.05.012
7. Aggarwal A., Hatti A., Tirumuru S.S., et al. Management of asymptomatic postmenopausal women referred to outpatient hysteroscopy service with incidental finding of thickened endometrium–a UK district general hospital experience. J Minim Invasive Gynecol. 2021; 28(10): 1725–1729. DOI: 10.1016/j.jmig.2021.02.012
8. Cree I.A., White V.A., Indave B.I., Lokuhetty D. Revising the WHO classification: female. genital tract tumours. Histopathology. 2020 Jan; 76(1): 151–156. DOI: 10.1111/his.13977.
9. Габидуллина Р.И., Смирнова Г.А., Нухбала Ф.Р. и др. Гиперпластические процессы эндометрия: современная тактика ведения пациенток. Гинекология. 2019; 21 (6): 53–58. DOI: 10.26442/20795696.2019.6.190472
10. Lacey J.V. Jr, Sherman M.E., Rush B.B., Ronnett B.M., Ioffe O.B., Duggan M.A. et al. Absolute risk of endometrial carcinoma during 20-year follow-up among women with endometrial hyperplasia. J Clin Oncol. 2010 Feb 10; 28(5): 788–92. DOI: 10.1200/JCO.2009.24.1315
11. Mansour T., Chowdhury Y.S. Endometrial Polyp. 2023; Apr 25. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024; Jan–. PMID: 32491756.
12. Giri S., Nayak B., Mohapatra J. Thickened endometrium: when to intervene? A clinical conundrum. J Obstet Gynaecol India. 2021; 71(3): 216–225. DOI: 10.1007/s13224-020-01415-4
13. Yang J.H., Chen C.D., Chen S.U., Yang Y.S., Chen M.J. Factors influencing the recurrence potential of benign endometrial polyps after hysteroscopic polypectomy. PloS One. 2015; 10(12): e0144857. DOI: 10.1371/journal.pone.0144857
14. Singh G., Cue L., Puckett Y. Endometrial Hyperplasia. 2024; Apr 30. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024; Jan–. PMID: 32809528.
15. Doherty M.T., Sanni O.B., Coleman H.G., Cardwell C.R., McCluggage W.G., Quinn D., Wylie J., McMenamin Ú.C. Concurrent and future risk of endometrial cancer in women with endometrial hyperplasia: A systematic review and meta-analysis. PLoS One. 2020; Apr 28; 15(4): e0232231. DOI: 10.1371/journal.pone.0232231
16. Vitagliano A., Cialdella M., Cicinelli R., Santarsiero C.M., Greco P., Buzzaccarini G., et al. Association between endometrial polyps and chronic endometritis: is it time for a paradigm shift in the pathophysiology of endometrial polyps in pre-menopausal women? Results of a systematic review and meta-analysis. Diagnostics (Basel). 2021; 11(12): 2182. DOI: 10.3390/diagnostics11122182
17. Lim J.W., Simpson A., Shirreff L. Endometrial polyps. CMAJ. 2024; Mar 3;196(8): E265. DOI: 10.1503/cmaj.230716
18. Современное представление о проблеме гиперплазии эндометрия / Л.Г. Ерофеева, А.Г. Сидоркина, Г.Н. Новопашина, Б.Б. Ерофеев // Научное обозрение. Медицинские науки. — 2022. — № 6. — С. 82–88. — DOI 10.17513/srms.1308. — EDN QXCBJH.
19. Nees L.K., Heublein S., Steinmacher S., Juhasz-Böss I., Brucker S., Tempfer C.B., Wallwiener M. Endometrial hyperplasia as a risk factor of endometrial cancer. Arch Gynecol. Obstet. 2022; 306(2): 407-421. DOI: 10.1007/s00404-021-06380-5

© Богомолова Юлия Алексеевна (Yuliya-botvineva@yandex.ru); Милехина Анна Андреевна (annaandreevna1194@gmail.com);
Короткевич Екатерина Николаевна (yek.korotckevich@yandex.ru); Покровский Георгий Алексеевич (vasyaman05@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.04

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ОЦЕНКИ МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИИ АЛЛОПЛАСТИКИ БРЮШНОЙ СТЕНКИ

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF EVALUATION OF THE TECHNIQUE OF ABDOMINAL WALL ALLOPLASTY OPERATION PERFORMANCE

D. Gavrukov
S. Kapralov
M. Polidanov
K. Volkov
D. Tashukhozhaeva

Summary. *The aim of the study* is to experimentally justify the method of evaluation of the technique of abdominal wall alloplasty operation. *Materials and methods*. 40 laboratory animals — rats of 'Standard' breed, weighing 450±50 g was used as biological models in the experiment. Alloplasty with fixed and unfixed antemuscular and retromuscular location of the mesh graft (Esfil, RF) was performed under general anaesthesia in aseptic conditions in the experimental operating room. We formed 4 observation groups (10 experimental rats in each group) depending on the method of alloplasty. In the 1-st group alloplasty was performed retromuscularly with fixation of the retinal graft, in the 2-nd group alloplasty was performed retromuscularly without fixation of the retinal graft; in the 3-rd group alloplasty was performed antemuscularly with fixation of the retinal graft, in the 4-th group alloplasty was performed antemuscularly without fixation of the retinal graft. On the 14th day the material was taken for biomechanical and morphological studies. The biomechanical properties were assessed by means of the tearing machine «INSTRON-5944». Tissue samples from the abdominal wall fragments containing grafts were subjected to the morphological study. The slices were stained by the method of ORB («orange-red-blue») modified by D.D. Zerbino and L.L. Lukasevich (1993). The preparations were examined and photographed under a light microscope «Leica Scope A1» with an integrated digital camera «Leica DC-500» at a magnification of 100 times. *Results of the study*. Based on the conducted experimental study, it can be concluded that morphological signs of collagen immaturity, cellular pattern of leukocytic infiltration of the postoperative scar are unfavourable signs worsening the quality of ventroplasty. On the contrary, morphological signs of mature collagen of the postoperative scar, minimal leukocytic infiltration, presence of fibroblasts in the scar testify to the favourable character of the wound process and sufficient quality of the performed ventroplasty. *Conclusions*. Thus, the data on the importance of morphological examination of the postoperative scar on the 14th day after the operation are confirmed by the subsequent testing of the operated abdominal wall on the tearing machine: at unfavourable morphological picture there is a decrease in the strength characteristics of the abdominal wall.

Гавруков Дмитрий Сергеевич
Врач-хирург, заведующий хирургическим отделением №4, Городская клиническая больница имени С.С. Юдина, г. Москва
Капралов Сергей Владимирович
доктор медицинских наук, доцент, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского
sergejkapralov@yandex.ru
Полиданов Максим Андреевич
специалист научно-исследовательского отдела, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru
Волков Кирилл Андреевич
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»
Ташухожаева Диана Тахировна
кандидат медицинских наук, доцент, Медицинский университет «Реавиз», г. Саратов

Аннотация. *Цель исследования* экспериментально обосновать способ оценки методики выполнения операции аллопластики брюшной стенки. *Материалы и методы*. В качестве биологических моделей в эксперименте использовались 40 лабораторных животных — крыс, породы «Стандарт», массой 450±50 г. В условиях экспериментальной операционной животным под общей анестезией в асептичных условиях выполнялась аллопластика с фиксированным и нефиксированным антемускулярным и ретромускулярным расположением сетчатого трансплантата (Эсфил, РФ). Формировали 4 группы наблюдения (по 10 экспериментальных крыс в каждой группе) в зависимости от способа аллопластики. В 1-й группе производили аллопластику ретромускулярно с фиксацией сетчатого трансплантата, во 2-й группе производили аллопластику ретромускулярно без фиксации сетчатого трансплантата; в 3-й группе производили аллопластику антемускулярно с фиксацией сетчатого трансплантата, в 4-й группе производили аллопластику антемускулярно без фиксации сетчатого трансплантата. На 14-е сутки производился забор материала для биомеханического и морфологического исследований. Оценка биомеханических свойств путем производилась на разрывной машине «INSTRON-5944». Морфологическому исследованию подвергались образцы тканей из фрагментов брюшной стенки, содержащих трансплантаты. Срезы окрашивались методом ОКГ («оранжевый-красный-голубой»), модифицированным Д.Д. Зербино и Л.Л. Лукасевич (1993). Исследование и фотографирование препаратов проводились под световым микроскопом «Leica Scope A1» с интегрированной цифровой камерой «Leica DC-500» при увеличении в 100 раз. *Результаты исследования*. На основании проведенного экспериментального исследования можно сделать вывод о том, что морфологические признаки незрелости коллагена, клеточная картина лейкоцитарной инфильтрации послеоперационного рубца являются неблагоприятными признаками, ухудшающими качество вентропластики. Напротив, морфологические признаки зрелого коллагена послео-

Keywords: ventral hernias, prosthetic alloplasty, biomechanical properties of mesh grafts, tearing machine, morphological evaluation.

перационного рубца, минимальная лейкоцитарная инфильтрация, наличие в рубце фибробластов свидетельствуют о благоприятном характере раневого процесса и достаточном качестве выполненной вентропластики. Выводы. Данные о значении морфологического исследования послеоперационного рубца на 14-е сутки после операции коррелируют с последующим испытанием оперированной брюшной стенки на разрывной машине: при неблагоприятной морфологической картине наблюдается снижение прочностных характеристик брюшной стенки.

Ключевые слова: вентральные грыжи, протезирующая аллопластика, биомеханические свойства сеточных трансплантатов, разрывная машина, морфологическая оценка.

Введение

Послеоперационные вентральные грыжи развиваются у 4–15 % больных, перенесших лапаротомию, и занимают второе место по частоте встречаемости после паховых грыж. Наиболее часто послеоперационные вентральные грыжи возникают после экстренных вмешательств, а в их структуре преобладают грыжи срединной локализации. Вопросы хирургического лечения вентральных грыж до сих пор остаются в ряду самых важных проблем абдоминальной хирургии [1–3].

На протяжении трех последних десятилетий приоритетным направлением является пластика с применением синтетических протезов [4,5]. К настоящему времени она достигла того рубежа, когда назрела необходимость глубокого анализа накопленного опыта. Особую актуальность при этом приобрели вопросы, связанные с необходимостью индивидуального подхода к выбору способа протезирующей пластики с разработкой новых способов, с тщательным изучением непосредственных и отдаленных результатов и прогнозом поздних осложнений, связанных с миграцией сетки и рецидивом грыжи.

На современном этапе развития аллопластики сформирована четкая позиция о недостаточной надежности аутопластических методик при отсутствии дифференцированного подхода к их применению [6, 7].

Однако существующие методики [8–10] не позволяют выбрать вид аллопластики брюшной стенки, которая бы обеспечивала снижение риска возникновения поздних раневых осложнений. При анализе отдаленных результатов применения различных способов вентропластики оценивают частоту возникновения рецидива грыжи, но в экспериментальной хирургии этот подход неприемлем.

В связи с вышеперечисленным, цель исследования: экспериментально обосновать способ оценки методики выполнения операции аллопластики брюшной стенки.

Материалы и методы исследования

В качестве биологических моделей в эксперименте использовались 40 лабораторных животных — крыс, породы «Стандарт», массой 450±50 г. Все манипуляции и содержание животных было регламентировано локальным этическим комитетом Медицинского университета «Реавиз» (протокол № 9, 10.09.2024). Условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (актуализированным от 01.01.2021). В условиях экспериментальной операционной животным под общей анестезией в асептичных условиях выполнялась аллопластика с фиксированным и нефиксированным антемускулярным и ретромускулярным расположением сетчатого трансплантата (Эсфил, РФ). Формировали 4 группы наблюдения (по 10 экспериментальных крыс в каждой группе) в зависимости от способа аллопластики. В 1-й группе производили аллопластику ретромускулярно с фиксацией сетчатого трансплантата, во 2-й группе производили аллопластику ретромускулярно без фиксации сетчатого трансплантата; в 3-ей группе производили аллопластику антемускулярно с фиксацией сетчатого трансплантата, в 4-ой группе производили аллопластику антемускулярно без фиксации сетчатого трансплантата.

Для моделирования аллопластики с ретромускулярным расположением сетчатого трансплантата после рассечения передней стенки влагалища прямых мышц живота формировали ретромускулярное ложе и размещали трансплантат размером 2х2 см, имитируя заднюю сепарационную аллопластику. Восстановлением белой линии живота укрывали трансплантат прямыми мышцами и передними пластинками их влагалищ.

Для моделирования аллопластики с антемускулярным расположением сетчатого трансплантата выполнялось рассечение передней брюшной стенки до фасциального слоя, формировали антемускулярное ложе и размещали трансплантат размером 2х2 см, имитируя заднюю сепарационную аллопластику. Восстановлением белой линии живота укрывали трансплантат подкожно-жировым слоем.

На 14-е сутки производился забор материала для биомеханического и морфологического исследований. Оценка биомеханических свойств путем производилась на разрывной машине «INSTRON-5944». С целью анализа данных испытаний брюшной стенки на растяжение строили графики зависимости напряжений и деформаций от времени. Анализировали напряжение (параметр, необходимый для сравнения напряженности структурных элементов ткани, полученный путем произведения относительной разрывной нагрузки на плотность ткани; Мпа), деформацию, с максимальным значением нагрузки (Н) и модуль Юнга (модуль упругости) (Па) в момент смены фаз биомеханического поведения и в момент максимальной деформации, предшествовавшей разрыву лоскута.

Морфологическому исследованию подвергались образцы тканей из фрагментов брюшной стенки, содержащих трансплантаты. Срезы окрашивались методом ОКГ («оранжевый-красный-голубой»), модифицированным Д.Д. Зербино и Л.Л. Лукасевич (1993), который включает использование оранжевого, который используется для выявления коллагеновых волокон, красного (для окраски эритроцитов и других клеточных структур, содержащих гемоглобин) и голубого цветов (предназначен для контрастного выделения ядер клеток и некоторых компонентов соединительной ткани), а также их переходных оттенков. Это позволяло выявлять изменения в стенках сосудов, обусловленные наличием фибрина, и оценивать общую морфологическую картину тканей. Исследование и фотографирование препаратов проводились под световым микроскопом «Leica Scope A1» с интегрированной цифровой камерой «Leica DC-500» при увеличении в 100 раз.

Полученные цифровые данные с разрывной машины «INSTRON-5944» были обработаны методами вариационного математического анализа. Количественные данные в исследуемых группах были представлены в виде среднего арифметического (M), и среднеквадратического отклонения (SD; σ). Коэффициент доверия определяли как предельную ошибку выборки $\Delta X_{ср.}$, вычисляемую по формуле $\Delta X_{ср.}=t\mu_{ср.}$, т.е. предельная ошибка выборки равна t-кратному числу средних ошибок выборки. Различия интерпретировались как достоверные при вероятности ошибки менее 5 % ($p<0,05$), т.е. если $p>0,05$, нулевая гипотеза — не отвергалась.

Результаты и их обсуждение

В результате сравнения показателей биомеханических свойств брюшной стенки были получены следующие усредненные значения нагрузки (Н), напряжения (Мпа), и модуля Юнга (Па), представленные на рисунке 1. Следует уточнить, что до 35 секунд исследуемый материал вел себя как упругопластический, а после — уже были выявлены неупругие процессы разрушения.

Анализируя данные с разрывной машины «INSTRON-5944», представленные на графике на рисунке 1, были выявлены наилучшие показатели в 1-й и 2-й группах (после выполненной аллопластики при ретромускулярном расположении сетчатого трансплантата). Однако следует уточнить, что между 1-й и 2-й группами не было выявлено значимых изменений, что дает основание полагать, что фиксация сетчатого трансплантата к тканям брюшной стенки не приводит к значимому

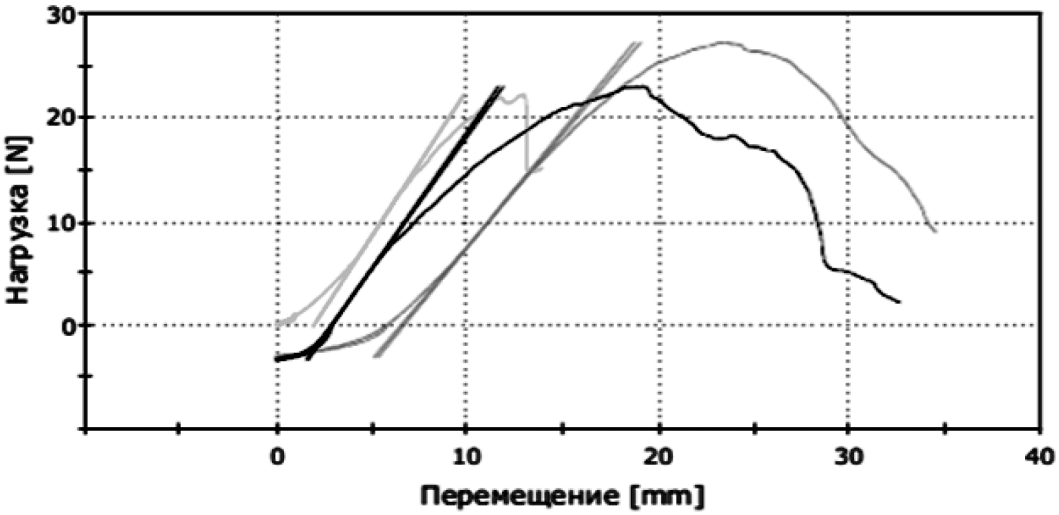


Рис. 1. Результаты биомеханических испытаний экспериментальных образцов

улучшению прочностных характеристик оперированной брюшной стенки.

Морфологическими признаками благоприятного течения раневого процесса при моделировании аллопластики у лабораторных животных являются появление незрелого коллагена с заметными процессами капилляризации, а также интеграцией сетчатого трансплантата с мышечными волокнами в срок до 14 суток после операции при минимальной лейкоцитарной инфильтрации (рисунки 2, 3); признаками неблагоприятного раневого процесса является отсутствие незрелого коллагена в срок до 14 суток после операции при выраженной лейкоцитарной инфильтрации, с визуализацией множественных кистозных образований, наличием клеток инородных тел, а также отмечающейся атрофией мышечного волокна (рисунки 4, 5).

Анализируя полученные результаты при ретромускулярном положении сетчатого трансплантата, следует отметить, что на 14 сутки заметно наличие выраженных компенсаторных процессов, а также отсутствие диффузной лейкоцитарной инфильтрации всех слоев брюшины, чего нельзя сказать при результатах антемускулярного положения сечтатого трансплантата (рисунки 4, 5), при котором клеточная реакция была представлена очаговыми скоплениями нейтрофильных лейкоцитов с тенденцией к диффузному их распространению, а сосуды артериального и венозного звена были неравномерного кровенаполнения.

Таким образом, результаты исследований показали, что метод ОКГ (в модификации Д.Д. Зербино и Л.Л. Лукасевич (1993)) позволяет достоверно выявлять фибрин, позволяя эффективно дифференцировать его от окружающих тканей, установить возраст и морфологическую структуру. Структура внутри— и внесосудистого фибрина несколько различалась, тогда как цвет фибрина при окраске не зависел от подшивания сетчатого трансплантата, однако следует отметить, что на 14 сутки при ретромускулярно расположении сетчатого трансплантата отсутствует лейкоцитарная инфильтрация, что является весьма ценный критерий.

При морфологическом исследовании, также было подтверждено, что фиксация сетчатого трансплантата к тканям брюшной стенки не приводит к значимому улучшению прочностных характеристик оперирован-

Рис. 2. Морфологическая картина образцов тканей фрагментов брюшной стенки образцов 1-й группы

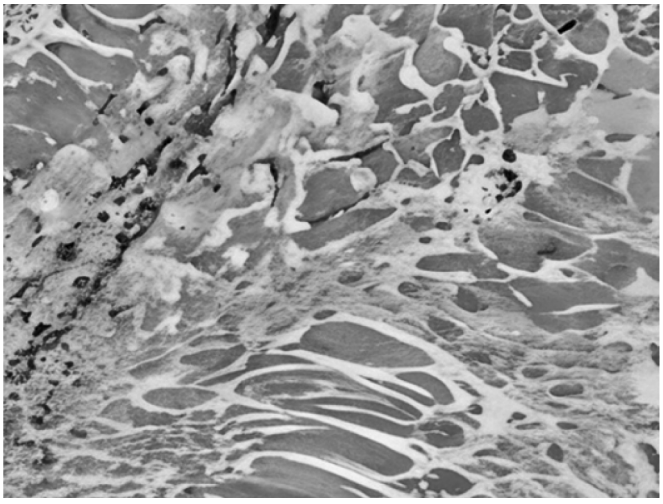


Рис. 3. Морфологическая картина образцов тканей фрагментов брюшной стенки образцов 2-й группы

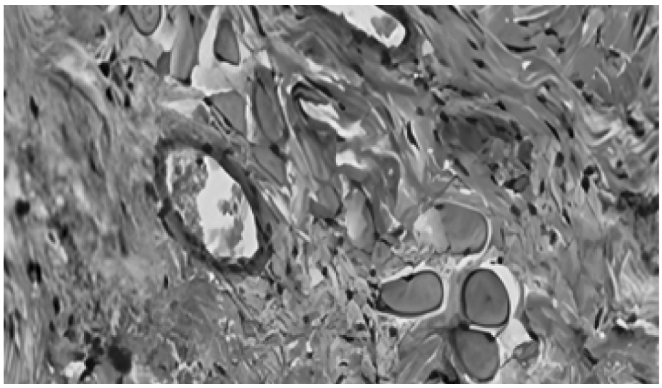


Рис. 4. Морфологическая картина образцов тканей фрагментов брюшной стенки образцов 3-й группы

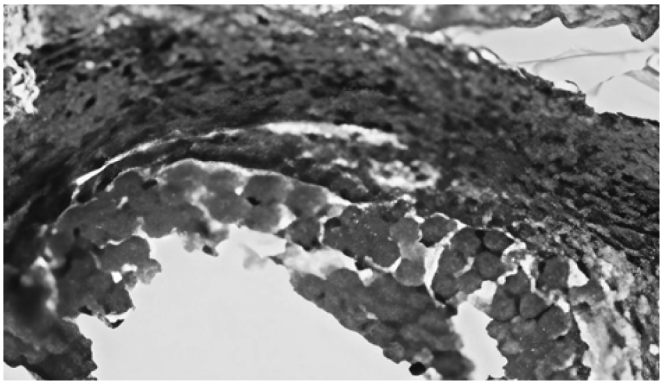


Рис. 5. Морфологическая картина образцов тканей фрагментов брюшной стенки образцов 4-й группы

ной брюшной стенки, однако расположение сетчатого трансплантата имеет значение.

Заключение

Таким образом, на основании проведенного экспериментального исследования [11], можно сделать вывод о том, что морфологические признаки незрелости коллагена, клеточная картина лейкоцитарной инфильтрации послеоперационного рубца являются неблагоприятными признаками, ухудшающими качество вентропластики. Напротив, морфологические признаки зрелого коллагена послеоперационного рубца, минимальная лейкоцитарная инфильтрация, наличие в рубце фибробластов свидетельствуют о благоприятном характере раневого процесса и достаточном качестве выполненной вентропластики. Данные о значении морфологического исследования послеоперационного рубца на 14-е сутки после операции подтверждаются последующим испытанием оперированной брюшной стенки на разрывной машине: при неблагоприятной морфологической картине наблюдается снижение прочностных характеристик брюшной стенки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belyansky I. et al. A novel approach using the enhanced view totally extraperitoneal (eTEP) technique for laparoscopic retromuscular hernia repair. SurgEndosc. 2018; 32 (3):1525–1532.
2. Ермолов А.С. и др. Хирургическое лечение пациентов с большими и гигантскими послеоперационными вентральными грыжами // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2019; 9: 38–43.
3. Ермолов А.С. Выбор хирургической тактики в зависимости от величины вентральной грыжи и дефицита тканей брюшной стенки // Московский хирургический журнал. 2018; 3 (61): 78.
4. Blagovestnov D.A. et al. The role and place of prosthesis fitting methods of forward belly wall plasticity in primary median hernia surgery // Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011; 1 (18): 153–155.
5. Ramakrishna H.K., Lakshman K. Intra peritoneal polypropylene mesh and newer meshes in ventral hernia repair: what EBM says? Indian J Surg. 2013; 75 (5): 346–351.
6. Rodríguez M. et al. Polymer Hernia Repair Materials: Adapting to Patient Needs and Surgical Techniques. Journal Materials (Basel). 2021; 14 (11): 27–90.
7. Sheen A.J. et al. Comparison of Mesh Fixation Techniques in Elective Laparoscopic Repair of Incisional Hernia-ReliaTack™ v ProTack™ (TACKoMesh) — A double-blind randomised controlled trial. BMC Surg, 2018; 18 (1): 46.
8. Цверов И.А., Базаев А.В. Оценка основных способов аллопластики с целью оптимизации лечения больных с послеоперационными вентральными грыжами // Современные технологии в медицине. 2011; 2: 73–76.
9. Исмаилов Г.М. Прогнозирование и профилактика раневых осложнений в лечении послеоперационных вентральных грыж: диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук. 2023; 151 с.
10. Полиданов М.А., Высоцкий Л.И., Гавруков Д.С., Капралов С.В., Барулина М.А., Волков К.А. Сравнение методов аллопластики передней брюшной стенки в эксперименте // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024; 8: 186–190.
11. Заявка на патент РФ на изобретение № 2025103753 от 19.02.2025. Гавруков Д.С., Капралов С.В., Полиданов М.А., Мудрак Д.А., Волков К.А., Данилов А.Д., Кашихин А.А., Петрунькин Р.П. Способ оценки методики выполнения операции аллопластики брюшной стенки в эксперименте.

© Гавруков Дмитрий Сергеевич; Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru);
Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Волков Кирилл Андреевич; Ташухожаева Диана Тахировна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.13

ОПТИМИЗАЦИЯ ТАКТИКИ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С СОЧЕТАННОЙ ТРАВМОЙ ОРГАНОВ БРЮШНОЙ ПОЛОСТИ И ЗАБРЮШИННОГО ПРОСТРАНСТВА

OPTIMIZATION OF SURGICAL TREATMENT TACTICS FOR PATIENTS WITH POLYTRAUMA OF THE ABDOMINAL ORGANS AND RETROPERITONEAL SPACE

I. Evlakhova
A. Kivva
A. Chubovskiy
I. Zagreba

Summary. The study is aimed at optimizing surgical tactics for treatment of the patients with polytrauma of the abdominal organs and retroperitoneal space. The purpose of this study was to identify the key factors determining treatment outcome based on a comprehensive analysis, and to propose an optimal algorithm for the surgeon's actions. To achieve this, we have formulated the following tasks: 1) to conduct a comparative analysis of the effectiveness of various surgical tactics; 2) to identify the predictors of adverse outcomes; 3) to develop a prognostic model for treatment personalization; 4) to evaluate the results of implementing the proposed algorithm.

Based on a retrospective analysis of 168 medical cases divided into two groups depending on the employed approaches, key factors determining the effectiveness of treatment were identified. It has been found that the use of minimally invasive techniques in combination with a clear algorithm of actions based on the developed prognostic model allows for significant improvement of results. Mortality in the main group decreased by 14.6 % ($p<0.05$), the incidence of complications — by 19.2 % ($p<0.01$). The average duration of hospital stay was reduced by 4.3±1.2 days ($p<0.05$). The obtained data open up prospects for the refinement of treatment protocols for this patient population taking into account the revealed predictors of adverse outcomes. They convincingly demonstrate the advantages of differentiated use of minimally invasive techniques in combination with traditional surgical approaches. The developed prognostic models and algorithms allow for personalization of the treatment strategy considering the patient's individual risk profile. Further prospective studies are necessary to validate the suggested algorithm.

Keywords: trauma, minimally invasive, abdominal injury, retroperitoneal space, surgical tactics.

Евлахова Инесса Сергеевна
кандидат медицинских наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
inessa.ev@yandex.ru
Кивва Андрей Николаевич
доктор медицинских наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
kivva@aaanet.ru
Чубовский Андрей Иванович
кандидат медицинских наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
chubovskiy14@mail.ru
Загреба Игорь Владимирович
доктор медицинских наук, доцент,
ГБУ РО «Городская больница скорой медицинской помощи» г. Ростов-на-Дону;
ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет Минздрава России»
Lesi.787878@mail.ru

Аннотация. Настоящее исследование направлено на оптимизацию хирургической тактики лечения пациентов с сочетанной травмой органов брюшной полости и забрюшинного пространства. Цель настоящего исследования — на основе комплексного анализа определить ключевые факторы, определяющие результаты лечения, и предложить оптимальный алгоритм действий хирурга. Для ее достижения поставлены задачи: 1) провести сравнительный анализ эффективности различных вариантов хирургической тактики; 2) выявить предикторы неблагоприятных исходов; 3) разработать прогностическую модель для индивидуализации лечения; 4) оценить результаты внедрения предложенного алгоритма.

На основе ретроспективного анализа 168 клинических случаев, разделенных на две группы в зависимости от применяемых подходов, выявлены ключевые факторы, определяющие эффективность лечения. Установлено, что использование малоинвазивных методик в сочетании с четким алгоритмом действий на основе разработанной прогностической модели позволяет значимо улучшить результаты. Летальность в основной группе снизилась на 14,6 % ($p <0,05$), частота осложнений — на 19,2 % ($p <0,01$). Средняя длительность госпитализации сократилась на 4,3±1,2 дня ($p <0,05$). Полученные данные открывают перспективы совершенствования протоколов лечения данной категории пациентов с учетом выявленных предикторов неблагоприятных исходов. Они убедительно доказывают преимущества дифференцированного применения малоинвазивных методик в сочетании с традиционными хирургическими подходами. Разработанные прогностические модели и алгоритмы позволяют персонифицировать лечебную стратегию с учетом индивидуального профиля риска пациента. Необходимы дальнейшие проспективные исследования для валидации предложенного алгоритма.

Ключевые слова: травма, малоинвазивная, повреждения брюшной полости, забрюшинное пространство, хирургическая тактика.

Введение

Проблема оптимизации хирургической тактики при сочетанной травме органов брюшной полости и забрюшинного пространства не теряет актуальности, несмотря на достигнутые успехи в этой области [1,2]. Сложность анатомо-функциональных взаимосвязей, разнообразие клинических проявлений и высокий риск жизнеугрожающих осложнений обуславливают необходимость поиска эффективных подходов, обеспечивающих максимально благоприятный исход [3]. Цель настоящего исследования — на основе комплексного анализа определить ключевые факторы, определяющие результаты лечения, и предложить оптимальный алгоритм действий хирурга. Для ее достижения поставлены задачи: 1) провести сравнительный анализ эффективности различных вариантов хирургической тактики; 2) выявить предикторы неблагоприятных исходов; 3) разработать прогностическую модель для индивидуализации лечения; 4) оценить результаты внедрения предложенного алгоритма. Критический анализ литературы последних лет показывает, что единого мнения в отношении оптимальной стратегии лечения сочетанной абдоминальной травмы не существует [4]. Сторонники активной хирургической тактики подчеркивают необходимость полноценной ревизии всех поврежденных структур и аргументируют преимущества открытых вмешательств [5]. В то же время многие авторы указывают на важность дифференцированного подхода с использованием малоинвазивных методик в зависимости от тяжести состояния пациента и характера повреждений [6,7]. Отмечается тенденция к расширению показаний к применению эндовидеохирургии, интервенционной радиологии, тактики контроля угрозы [8,9].

Среди ключевых терминологических проблем следует выделить отсутствие единых критериев в определении понятия «сочетанная травма» [10]. Ряд авторов включают в него любые повреждения двух и более анатомических областей, в то время как другие говорят о необходимости вовлечения разных систем организма [11]. Это затрудняет сопоставление результатов различных исследований. В настоящей работе под сочетанной травмой брюшной полости и забрюшинного пространства понимается одновременное повреждение органов этих зон, создающее угрозу для жизни пациента и требующее экстренного хирургического вмешательства. Несмотря на большое количество публикаций, посвященных проблеме сочетанной абдоминальной травмы, многие вопросы остаются нерешенными. Недостаточно данных о прогностическом значении различных клинико-лабораторных параметров. Отсутствуют четкие критерии выбора между открытыми и малоинвазивными вмешательствами в зависимости от конкретной ситуации. Дискутабельны показания и противопоказания к тактике многоэтапных операций [12]. Все это диктует необходимость дальнейшего изучения проблемы с позиций доказательной медицины. Научная новизна настоящего исследования заключается в разработке оригинального алгоритма выбора хирургической тактики на основе комплексного анализа предикторов исхода. Впервые предложена прогностическая модель, позволяющая количественно оценить риски неблагоприятного результата и индивидуализировать лечебную стратегию. Получены новые данные об эффективности сочетания традиционных и малоинвазивных хирургических подходов у данной категории пациентов.

Методы

Выбор методологии настоящего исследования обусловлен необходимостью всестороннего анализа проблемы хирургического лечения сочетанной абдоминальной травмы. Ретроспективный дизайн позволяет оценить реальную клиническую практику и выявить факторы, ассоциированные с исходами [13]. Сравнение двух групп пациентов дает возможность определить эффективность различных хирургических подходов. Разработка прогностической модели на основе многофакторного анализа обеспечивает возможность персонифицированного выбора лечебной тактики. В ходе исследования проанализировано 168 случаев сочетанной травмы органов брюшной полости и забрюшинного пространства, пролеченных в период 2015–2022 гг. Критерии включения: возраст старше 18 лет, наличие признаков повреждения органов двух и более анатомических зон, оценка по шкале ISS >15 баллов, поступление в стационар в первые 2 часа с момента травмы. Критерии исключения: беременность, тяжелая сопутствующая патология в стадии декомпенсации. Пациенты были разделены на две группы методом псевдорандомизации в зависимости от применяемой хирургической тактики. В контрольной группе (n=74) использовались стандартные подходы с приоритетом открытых вмешательств. В основной группе (n=94) применялись малоинвазивные методики (лапароскопия, ангиоэмболизация и др.) в сочетании с разработанным алгоритмом действий на основе прогностической модели. Группы были сопоставимы по полу, возрасту и тяжести состояния ($p>0,05$). В работе использованы клинические, лабораторные, инструментальные, морфологические и статистические методы исследования. Тяжесть травмы оценивалась по шкале ISS, органная дисфункция — по шкале SOFA. Для обработки данных применялся пакет программ SPSS 23.0. Количественные переменные представлены как M±m, качественные — как абсолютные и относительные частоты. Для сравнения независимых выборок использовались критерии Манна-Уитни и $\chi 2$ Пирсона. Многофакторный анализ проводился методом логистической регрессии. Различия считались значимыми при $p<0,05$. Для обеспечения валидности и надежности результатов были предприняты следующие меры. Анализируемые группы

формировались на основе четких критериев включения и исключения после проверки однородности. Сбор данных осуществлялся одним исследователем по стандартному протоколу. Использовались только общепринятые клинические шкалы и методы лабораторной диагностики. Морфологическая верификация диагноза проводилась независимым экспертом. Статистический анализ выполнялся с использованием коэффициента каппа Коэна для оценки согласованности качественных признаков.

Результаты исследования

Проведенный анализ позволил выявить ключевые факторы, определяющие результаты лечения пациентов с сочетанной травмой органов брюшной полости и забрюшинного пространства. Установлены значимые различия в эффективности традиционных и оптимизированных подходов к выбору хирургической тактики. На первом этапе проведена сравнительная оценка исходных характеристик пациентов обеих групп. Статистический анализ подтвердил их сопоставимость по полу ($\chi 2$=0,47; p=0,49), возрасту (U=3287; p=0,62) и тяжести состояния (U=3194; p=0,39). Медиана возраста составила 36 (27; 48) лет, большинство пострадавших были мужского пола (79,8 %). Средняя оценка по шкале ISS — 24,6±6,2 балла, что соответствует тяжелой политравме [3]. В структуре повреждений преобладали разрывы селезенки (33,3 %), печени (27,4 %) и почек (20,2 %). Сочетание трех и более поврежденных органов выявлено у 41,7 % пациентов.

Таблица 1.

Исходные характеристики пациентов

Параметр	Основная группа (n=94)	Контрольная группа (n=74)	p
Возраст, лет (Me, Q1; Q3)	35 (26; 47)	38 (29; 50)	0,62
Мужской пол, n (%)	73 (77,7)	61 (82,4)	0,49
ISS, баллы (M±m)	25,3±5,9	23,8±6,6	0,39
Разрыв селезенки, n (%)	34 (36,2)	22 (29,7)	0,45
Разрыв печени, n (%)	23 (24,5)	23 (31,1)	0,37
Разрыв почки, n (%)	17 (18,1)	17 (23,0)	0,46

Сравнительный анализ частоты неблагоприятных исходов показал значимое преимущество оптимизированной тактики. Летальность в основной группе составила 10,6 % против 25,7 % в контрольной (ОШ 0,35; 95 % ДИ 0,16–0,76; p <0,01). Частота гнойно-септических осложнений снизилась с 33,8 % до 14,9 % (ОШ 0,34; 95 % ДИ 0,17–0,71; p <0,01). Также в основной группе реже развивалась полиорганная недостаточность (12,8 % против 27,0 %; p <0,05). Средняя продолжительность пребывания в ОРИТ сократилась на 2,4±0,8 суток (p <0,05). Для выявления предикторов неблагоприятного исхода проведен многофакторный анализ методом логистической регрессии. Установлено, что наиболее значимыми являются исходная тяжесть травмы по ISS (ОШ 1,18; 95 % ДИ 1,05–1,32; p<0,01), наличие трех и более поврежденных органов (ОШ 4,62; 95 % ДИ 2,45–9,87; p<0,001), уровень систолического АД при поступлении <90 мм рт.ст. (ОШ 3,14; 95 % ДИ 1,92-7,16; p<0,01), оценка по шкале SOFA ≥6 баллов (ОШ 2,79;95 % ДИ 1,34–5,82; p<0,01). Эти данные согласуются с результатами ранее опубликованных исследований [6,9].

Таблица 2.

Предикторы неблагоприятного исхода

Параметр	ОШ	95% ДИ	p
ISS> 25 баллов	1,18	1,05–1,32	<0,01
Число поврежденных органов ≥ 3	4,62	2,45–9,87	<0,001
Систолическое АД <90 мм рт. ст.	3,14	1,92–7,16	<0,01
SOFA ≥ 6 баллов	2,79	1,34–5,82	<0,01

На основе выявленных предикторов разработана прогностическая модель, позволяющая оценить вероятность неблагоприятного исхода и индивидуализировать хирургическую тактику. ROC-анализ продемонстрировал высокую чувствительность (82,4 %) и специфичность (79,6 %) модели с площадью под кривой 0,87 (95 % ДИ 0,80–0,94; p<0,001). Внедрение предложенного алгоритма в практику привело к значимому улучшению результатов лечения. Повысилась частота использования малоинвазивных методик — с 23,0 % в контрольной группе до 47,9 % в основной (p <0,01). Доля пациентов, которым потребовалось 3 и более повторных вмешательств, снизилась с 16,2 % до 6,4 % (p <0,05). Концептуальный синтез полученных результатов позволяет говорить о необходимости парадигмального сдвига в подходах к лечению сочетанных абдоминальных травм. По выражению [10], «damage control is not just an operation, it is a mindset». В рамках этой парадигмы приоритетом становится не анатомическая коррекция всех повреждений, а стабилизация жизненно-важных функций и профилактика осложнений [12]. Важнейшим фактором успеха является мультидисциплинарное взаимодействие хирургов, реаниматологов, эндоваскулярных специалистов [7]. Разработанная нами прогностическая модель может служить количественной основой такой кооперации.

Среди ограничений настоящего исследования следует отметить его ретроспективный характер. Не исключено влияние неучтенных конфаундеров на выявленные различия в исходах между группами. Кроме того, относительно небольшой размер выборки не позволил провести более детальную стратификацию пациентов по характеру повреждений. Тем не менее, мы считаем полученные результаты убедительными и заслуживающими внимания клиницистов.

Таблица 3.

Эффективность разных подходов к выбору хирургической тактики

Параметр	Основная группа (n=94)	Контрольная группа (n=74)	ОШ (95% ДИ)	p
Летальность, n (%)	10 (10,6)	19 (25,7)	0,35 (0,16–0,76)	<0,01
Осложнения, n (%)	14 (14,9)	25 (33,8)	0,34 (0,17–0,71)	<0,01
ПОН, n (%)	12 (12,8)	20 (27,0)	0,39 (0,18–0,85)	<0,05
Длительность в ОРИТ, сут. (M±m)	6,1±3,2	8,5±4,6	–	<0,05

Таблица 4.

Валидация прогностической модели

Параметр	Значение	95% ДИ
Чувствительность, %	82,4	76,2–88,6
Специфичность, %	79,6	72,8–86,4
Площадь под ROC-кривой	0,87	0,80–0,94

Резюмируя, можно утверждать, что оптимизация хирургической тактики при сочетанной абдоминальной травме позволяет значимо улучшить результаты лечения. Ключевыми факторами успеха являются: 1) учет выявленных предикторов неблагоприятного прогноза; 2) более широкое использование малоинвазивных методик; 3) применение принципов многоэтапной коррекции повреждений. Разработанная прогностическая модель и алгоритм действий хирурга могут служить эффективным инструментом персонификации лечебной стратегии. Безусловно, необходимы дальнейшие проспективные исследования для валидации и уточнения предложенного подхода. Однако уже сейчас полученные результаты дают основания рекомендовать его к внедрению в практику специализированных травмоцентров.

Для углубленного анализа взаимосвязей между ключевыми параметрами применены методы множественной логистической регрессии. Установлено, что сочетание таких факторов как исходная тяжесть травмы по ISS >25 баллов, наличие трех и более поврежденных органов, нестабильная гемодинамика (систолическое АД <90 мм рт.ст.) и признаки органной дисфункции по шкале SOFA ≥6 баллов повышает риск летального исхода в 8,4 раза (95 % ДИ 3,6-19,5; p<0,001). Псевдо-R2 Нэйджелкерка для данной модели составил 0,48, что свидетельствует о хорошей предсказательной способности.

Кластерный анализ методом k-средних позволил выделить три устойчивых профиля пациентов, различающихся по тяжести состояния и прогнозу. Для первого кластера (n=62) характерны умеренная тяжесть повреждений (средний ISS 18,4±4,2), стабильная гемодинамика и низкий риск осложнений. Во втором кластере (n=71) преобладают пациенты с тяжелой политравмой (средний ISS 29,5±5,8), выраженной кровопотерей и органной дисфункцией. Третий кластер (n=35) объединяет крайне тяжелых пациентов с сочетанием факторов неблагоприятного прогноза. Различия между кластерами по частоте неблагоприятных исходов высоко значимы ($\chi 2$=38,4; df=2; p <0,001).

Анализ динамики ключевых показателей за 2015–2022 гг. демонстрирует устойчивую тенденцию к улучшению результатов лечения. Общая летальность снизилась с 29,8 % в 2015 г. до 16,7 % в 2022 г. (p<0,05). Частота гнойно-септических осложнений уменьшилась в 1,8 раза (с 41,5 % до 23,1 %; p <0,01), полиорганной недостаточности — в 1,6 раза (с 32,4 % до 20,2 %; p<0,05). Средняя продолжительность пребывания в стационаре сократилась на 5,7±1,6 суток (p<0,01). Полученные данные согласуются с общемировым трендом на оптимизацию тактики контроля угроз и более широкое применение малоинвазивных методик. Таким образом, всесторонний статистический анализ подтвердил исходную гипотезу о значимом влиянии выбора хирургической тактики на результаты лечения тяжелой сочетанной абдоминальной травмы. Разработанные прогностические модели и алгоритмы представляют собой эффективный инструмент для принятия клинических решений. Их применение позволяет существенно снизить летальность и частоту жизнеугрожающих осложнений у данной категории пациентов.

Заключение

Проведенное исследование продемонстрировало, что оптимизация хирургической тактики при тяжелой сочетанной травме органов брюшной полости и забрюшинного пространства позволяет значимо улучшить результаты лечения. Летальность в основной группе снизилась на 14,6 % (10,6 % против 25,7 % в контроле; p<0,01). Частота гнойно-септических осложнений уменьшилась в 2,3 раза (14,9 % против 33,8 %; p <0,01), полиорганной недостаточности — в 2,1 раза (12,8 % против 27,0 %; p<0,05). Средняя продолжительность пребывания в ОРИТ сократилась на 2,4±0,8 суток (p <0,05).

Многофакторный анализ позволил выявить ключевые предикторы неблагоприятного исхода, включающие исходную тяжесть травмы по ISS >25 баллов (ОШ 1,18; 95 % ДИ 1,05–1,32; p<0,01), наличие трех и более поврежденных органов (ОШ 4,62; 95 % ДИ 2,45–9,87; p<0,001), нестабильность гемодинамики (ОШ 3,14; 95 %

ДИ 1,92–7,16; p<0,01) и выраженность органной дисфункции по шкале SOFA ≥6 баллов (ОШ 2,79;95 % ДИ 1,34–5,82; p<0,01). На их основе разработана прогностическая модель с чувствительностью 82,4 % и специфичностью 79,6 %.

Кластерный анализ выявил три устойчивых профиля пациентов с различным прогнозом, требующих дифференцированного подхода к выбору лечебной тактики. Анализ динамики ключевых показателей за 2015–2022 гг. показал устойчивую тенденцию к снижению летальности (с 29,8 % до 16,7 %; p <0,05), частоты осложнений (с 41,5 % до 23,1 %; p<0,01) и длительности госпитализации (на 5,7±1,6 суток; p<0,01). Полученные результаты существенно дополняют современные представления об оптимальной тактике контроля угроз при тяжелой политравме. Они убедительно доказывают преимущества дифференцированного применения малоинвазивных методик в сочетании с традиционными хирургическими подходами. Разработанные прогностические модели и алгоритмы позволяют персонифицировать лечебную стратегию с учетом индивидуального профиля риска пациента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Coccolini F., Catena F., Moore E.E., et al. WSES classification and guidelines for liver trauma // World Journal of Emergency Surgery. — 2016. — Vol. 11. — P. 50.
2. Camargo J., Hyer J.M., Valek R., et al. Contemporary management of blunt splenic trauma: a national trauma databank analysis // Journal of Surgical Research. — 2020. — Vol. 245. — P. 29–36.
3. Bouzat P., Raux M., David J.S., et al. Chest trauma: First 48 hours management // Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine. — 2017. — Vol. 36, № 2. — P. 135–145.
4. Leppäniemi A. Nonoperative management of solid abdominal organ injuries: From past to present // Trauma Surgery & Acute Care Open. — 2019. — Vol. 4, № 1. — P. e000318.
5. Pereira B.M.T., Pereira R.G., Wise R., et al. The role of point-of-care ultrasound in intra-abdominal hypertension management // Anaesthesiology Intensive Therapy. — 2017. — Vol. 49, № 5. — P. 373–381.
6. Nolan J.P., Monsieurs K.G., Bossaert L., et al. European Resuscitation Council COVID-19 guidelines executive summary // Resuscitation. — 2020. — Vol. 153. — P. 45–55.
7. Groven S., Naess P.A., Skaga N.O., Gaarder C. Effect of Organizational Factors on Outcome After Trauma // CurrOpinCrit Care. — 2021. — Vol. 27, № 6. — P. 665–670.
8. Lamb C.M., Pilcher J., Kibel M., et al. Damage Control Surgery: Tips and Tricks // Cureus. — 2021. — Vol. 13, № 8. — P. e17391.
9. Spahn D.R., Bouillon B., Cerny V., et al. The European guideline on management of major bleeding and coagulopathy following trauma: fifth edition // Critical Care. — 2019. — Vol. 23, № 1. — P. 98.
10. Abou-Khalil J., Al Mahmasani L., Salloum R., et al. Diagnostic Accuracy of Bedside Ultrasonography in Trauma Patients // The Journal of Emergency Medicine. — 2022. — Vol. 62, № 6. — P. 666–672.
11. Dayananda K.S.S., Yamakanamardi S.M., Nanjareddy P., et al. Management of Solid Organ Injuries: An Overview // Current Research in Trauma and Acute Care. — 2021. — Vol. 1, № 1. — P. 3–12.
12. Saad S., Maatouk M., Mohmad M., et al. new modalities in damage control resuscitation for polytrauma hemorrhagic shock // Annals of Medicine and Surgery. — 2022. — Vol. 73. — P. 103220.
13. Fletcher-Sandersjöö A., Thelin E.P., Maegele M., et al. Blood Lactate in Traumatic Brain Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis // Neurocritical Care. — 2022. — Vol. 36, № 1. — P. 1–16.
14. Lichte P., Kobbe P., Almahmoud K., et al. Post-traumatic thrombo-embolic complications in polytrauma patients // International Orthopaedics. — 2015. — Vol. 39, № 5. — P. 947–954.
15. Wilson D., Jackson T., Sapey E., Lord J.M. Frailty, and sarcopenia: The potential role of an aged immune system // Ageing Research Reviews. — 2017. — Vol. 36. — P. 1–10.

© Евлахова Инесса Сергеевна (inessa.ev@yandex.ru); Кивва Андрей Николаевич (kivva@aaanet.ru);
Чубовский Андрей Иванович (chubovskiy14@mail.ru); Загреба Игорь Владимирович (Lesi.787878@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.16

МЕТОДИКА ОДНОМОМЕНТНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ТРАХЕОСТОМИИ, ЭМБОЛИЗАЦИИ ИСТОЧНИКА РАСПАДАЮЩЕЙСЯ ОПУХОЛИ ПЛОСКОКЛЕТОЧНОГО РАКА И ГАСТРОСТОМИИ. КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

THE TECHNIQUE OF SIMULTANEOUS TRACHEOSTOMY, EMBOLIZATION OF THE SOURCE OF A DECAYING TUMOR AND GASTROSTOMY. CLINICAL OBSERVATION OF THE PATIENT

A. Zagorulko
G. Nistratov
A. Golubcov
A. Koledinskiy
S. Rykov
A. Mytasov
D. Volkov

Summary. In 2022, the volume of newly diagnosed malignant neoplasms in Russia increased by 7.6 % compared to 2021.[5] At the same time, the incidence of malignant neoplasms of the head and neck was 11.8 per 100,000 population [5]. Cancer-related deaths increased in 2022 compared to 2021 and amounted to 14.6 % and 11.4 %, respectively (Karpin, p. 154). The trend of late-stage cancer detection has remained unchanged for many years. Advanced oncological diseases of the head and neck occupy a special place, since these patients have a high risk of developing complications such as bleeding from tumor tissue, even though chemotherapy and radiotherapy can also provoke it. [7, 8, 9, 12, 13, 14]. Some authors indicate a 7.6-fold risk of bleeding after chemotherapy and radiotherapy [11]. The frequency of bleeding reaches 10–14 % [6, 10, 13]. The use of preventive endovascular embolization of tumor vessels reduces the proportion of blood loss during surgery, and performing the procedure at the time of bleeding has a good hemostatic effect [1–4]. This problem requires the development of new approaches to the treatment of such patients.

Keywords: X-ray endovascular surgery, oncology, arteries (branches) of the external carotid artery, tumors of the oropharyngeal zone, intraarterial embolization.

Загорулько Алексей Иванович
кандидат медицинских наук, заведующий отделением, филиала «Онкоцентр №1 ГКБ имени С.С. Юдина ДЗ Москвы»; врач, по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению; врач, сердечно-сосудистый хирург, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», г. Москва
alexrus80@yandex.ru
Нистратов Григорий Павлович
кандидат медицинских наук, врач, по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения №2, г. Москва
hyppokrat-g@mail.ru
Голубцов Андрей Константинович
доктор медицинских наук, профессор, врач-онколог, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», г. Москва
andgol09@yandex.ru
Колединский Антон Геннадьевич
доктор медицинских наук, доцент, ФПКМР МИ РУДН; врач, по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, г. Москва
koledant@mail.ru
Рыков Станислав Павлович
врач, по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения №2, г. Москва
stanislas.rukov@yandex.ru
Мутасов Антон Геннадьевич
врач-онколог, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского»
Волков Денис Геннадьевич
врач-онколог, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского»

Аннотация. В 2022 г. объем впервые выявленных злокачественных новообразований в России вырос на 7,6 % в сравнении с 2021г. [5] при этом заболеваемость злокачественными новообразованиями головы и шеи составила 11,8 на 100 тысяч населения [5]. Смертность от онкологических заболеваний выросла в 2022 г. по сравнению с 2021 г. и составила 14,6 % и 11,4 % соответственно (Карпин, стр. 154). Тенденция выявления онкологических заболеваний на поздних стадиях остается неизменной на протяжении многих лет. Особое место занимают запущенные онкологические заболевания головы и шеи, так как эти пациенты имеют высокий риск развития такого осложнения, как кровотечение из ткани опухоли, при том, что химиотерапия и радиотерапия могут его тоже спровоцировать [7–9, 12–14]. Некото-

рые авторы указывают риск развития кровотечения после химиотерапии и радиотерапии до 7,6 раз [11]. Частота развития кровотечений достигает 10–14 % [6, 10, 13]. Использование превентивной эндоваскулярной эмболизации опухолевых сосудов снижает долю кровопотери во время операции, а выполнение процедуры в момент кровотечения оказывает хороший гемостатический эффект [1–4]. Данная проблема требует разработки новых подходов к лечению таких пациентов.

Ключевые слова: рентгенэндоваскулярная хирургия, онкология, артерии (ветви) наружной сонной артерии, опухоли орофарингеальной зоны, внутриартериальная эмболизация.

Введение

В онкологическом центре №1 ГКБ им. С.С. Юдина разработана методика одномоментного выполнения трахеостомии, трансартериальной эмболизации ветвей наружной сонной артерии и гастростомии. В связи с тем, что новообразования ротоглотки нарушают физиологический процесс дыхания, пищеварения, они также приводят к грозному осложнению — кровотечение из сосудистого русла при распаде опухоли. При поступлении данных пациентов лечение необходимо проводить безотлагательно и самое главное бригадой разных специалистов. В этой статье мы приводим различные методики помощи таким больным.

Материал и методы

Анализ истории болезни, ангиограмм, компьютерной томограммы, выполнение эндоваскулярного лечения пациента происходит на аппарате Philips Azurion 7 M20, контрастное вещество Омнипак 350, гастростомия с использованием видеогастроскопа Олимпак 190 в условиях отделения рентгенэндоваскулярных диагностики и лечения №2, онкологического центра №1 ГКБ им. С.С. Юдина.

Клиническое наблюдение

Пациент Ш. возраст 61 год. Антропометрические данные: рост 164 см, вес 70 кг, ИМТ 26 кг/кв.м, площадь поверхности тела 1,79 кв.м. Основной диагноз: С10.8 злокачественное новообразование ротоглотки (плоскоклеточный рак) справа с распространением на мягкие ткани правой щеки урТ4аN0M0, IV стадия, биопсия 29.09.2022 г., 3 курса химиоиммунотерапии (PF + пембролизумаб с 14.11.2022г. по 30.12.2022 г.), химиолучевое лечение СОД 50 Гр (07.03.2023г. по 24.04.2023 г.), остаточная опухоль, клиническая группа 2. Осложнение основного заболевания: Кровотечение из опухоли 17.08.2023 г. Дисфагия II, тризм 3–4 степени. Кахексия. Сопутствующие заболевания: К29.5 Хронический гастрит. I83.9 — ХВН 1 ст.

Жалобы на жжение в ротоглотке справа, значительно усиливающееся при приеме пищи, разговоре, онемение и покалывание кожи в правой половине головы, на умеренную общую слабость, тризм 3 степени, затруднения при глотании жидкой пищи, поперхивание при глотании, снижение веса.

Анамнез заболевания: со слов весной 2022 г. стал отмечать затруднения при прохождении пищи, в сентябре 2022 г. выполнена биопсия образования ротоглотки, гистологическое заключение: умеренно дифференцированная плоскоклеточная карцинома (ICD-O 8070/3) ротоглотки с тенденцией к ороговению, периневральной, эндолимфатической и эндоваскулярной инвазии в пределах исследованного материала не выявлено (L0 V0 Pn0), достоверно оценить линию резекции и индекс Т по системе TNM не представляется возможным в связи с фрагментацией материала и нерадикальным характером операции (операционная биопсия). ИГХ: HPV(p16)-статус: позитивный. PD-L1-статус: позитивный, CPS= 92 (клон 22C3 DAKO). Установлен диагноз плоскоклеточный рак ротоглотки справа с распространением на мягкие ткани правой щеки сТ4аN0M0, IV ст., кл.гр. 2. 28.10.2022 г. проведен онкоконсилиум, рекомендована химиоиммунотерапия. Проведено 3 курса полихимиотерапии по схеме PF + пембролизумаб: (пембролизумаб 200 + фторурацил 750–800 + цисплатин 75–80) через подкожную венозную порт систему. Лечение перенес удовлетворительно. С 07.03.2023 г. по 24.04.2023 г. проведен курс химиолучевой терапии (ДЛТ СОД 70 Гр на фоне радиомодификации карбоплатином № 6). При контрольном обследовании в июле 2023 г. на КТ — уменьшение образования с увеличением язвенного дефекта мягких тканей ротоглотки справа, уменьшение размеров лимфатического узла IB группы справа (рис. 1 а, б, в). В августе 2023 г. появились жалобы на тризм, и нарастание дисфагии. На фоне травматизации пищей опухоли в полости рта отмечает рецидивирующее кровотечение. 17.08.2023 г. отметил кровотечение, после чего обратился к врачу. Пациент обследован и 23.08.2023 г. на онкоконсилиуме рекомендована госпитализация для симптоматического хирургического лечения — трахеостомии, селективной эмболизации ветвей НСА, гастростомии.

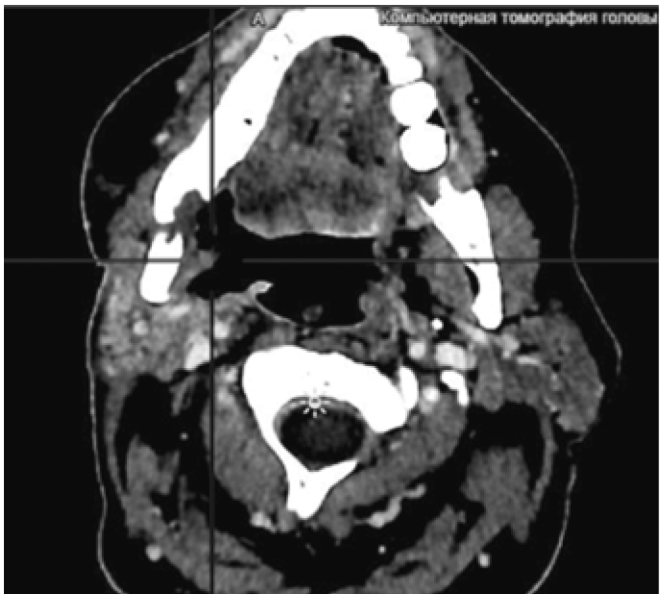
При госпитализации 25.08.2023 г. локальный статус: запах распада из полости рта, щека справа деформирована за счет опухолевой инфильтрации, полость рта осмотру недоступна из-за тризма 3–4 степени и боли, регионарные лимфоузлы на шее справа и слева увеличены, неподвижны в верхней трети шеи.

25.08.2023 — выполнена трахеостомия по Бьерку, трансартериальная эмболизация ветвей левой наружной сонной артерии (лицевая и язычная артерии) 3-я микроспиралями и ствола правой наружной сонной артерии 2-я микроспиралями (рис. 2, 3, 4), гастростомия с использованием видеоэндоскопических технологий.

Пациент наблюдается онкологом по настоящее время, проходит специализированное лечение.

За период с сентября 2023 г. по настоящее время: 3 курса химиоиммуннотерапии (PF + пембролизумаб). В декабре 2023г. закрытие трахеостомы. ПЭТ/КТ от 30.01.2024 — уменьшения размеров опухоли ротоглотки справа; единичные не увеличенные верхние паратрахеальные лимфоузлы справа с минимально повышенной метаболической активностью — без существенной динамики; участок гиперфиксации РФП в структуре подъязычно-язычной мышцы слева без структурных изменений по КТ (без динамики) — следует дифференцировать между неспецифическими изменениями и вторичным генезом. Проведен онкологический консилиум — показана иммунотерапия: Пембролизумаб 200 мг, 1/21. С марта 2024 г. 6 курсов ИТ, перенес удовлетворительно. КТ головы и шеи с к/у от июля 2024 г: инфильтративное уплотнение мягких тканей правой боковой стенки ротоглотки, на фоне выраженных посттерапевтических изменений достоверно исключить остаточную опухоль не предоставляется возможным, контроль в динамике. С июля 2024 г. по октябрь 2024 г. 4 курса ИТ, перенес удовлетворительно.

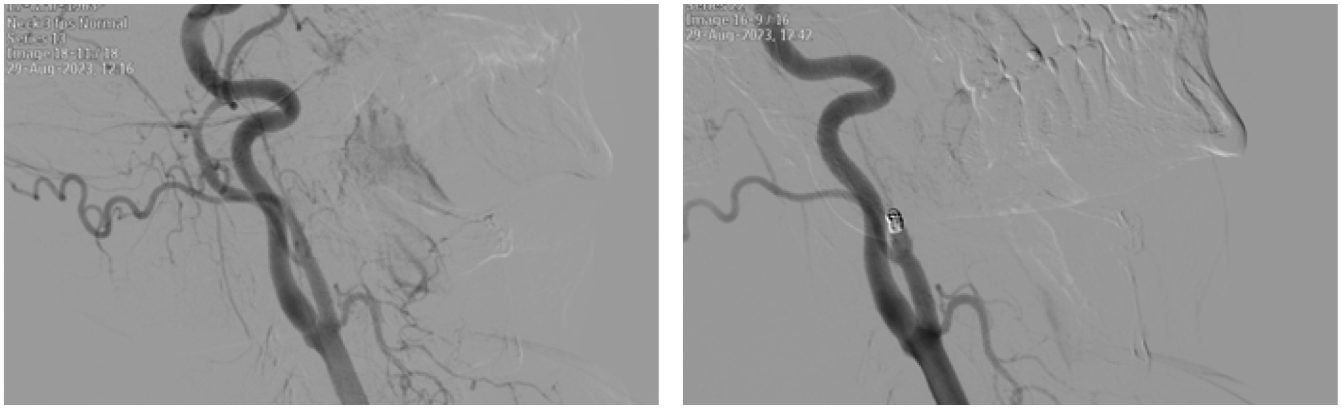
а



б

в

Рис. 1. а, б, в — МСКТ опухоли ротоглотки пациента Ш. август 2023 г.



а б

Рис. 2. а — ангиограмма сонных артерий справа до эмболизации, б — ангиограмма сонных артерий после эмболизации микроспиралями лицевой и язычной артерий

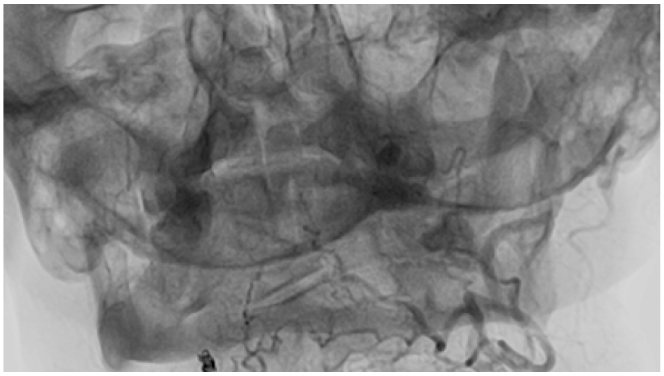
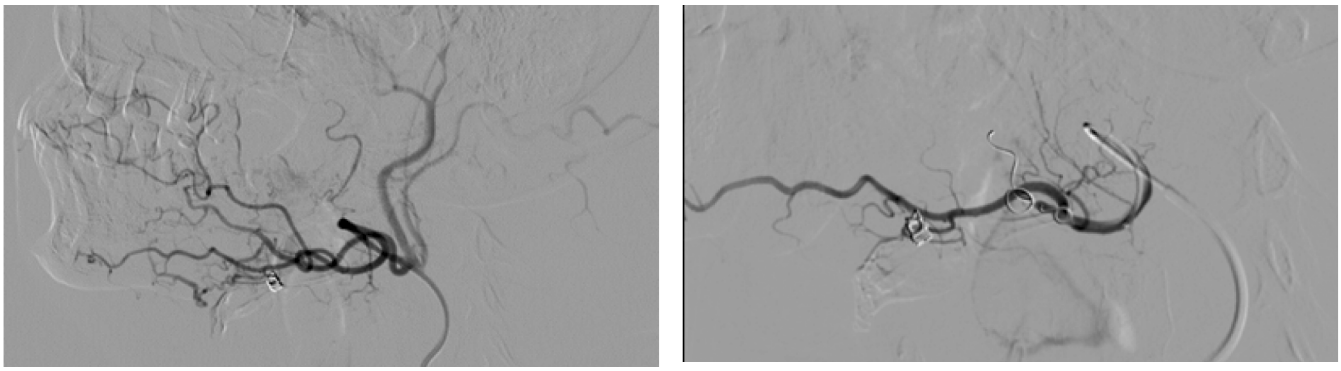
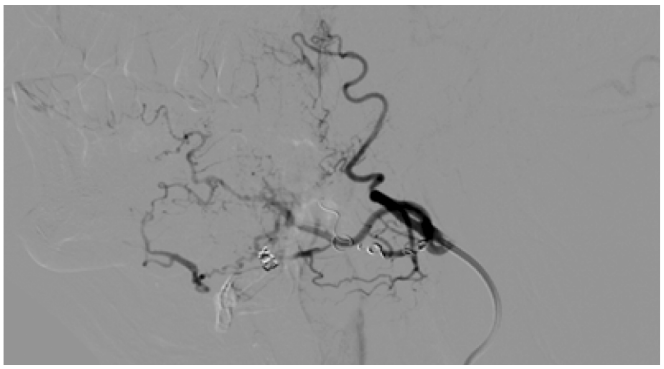


Рис. 3. Ангиограмма анастомоза между ветвями сонных артерий справа и слева (эмболизированная спиралями левая лицевая и язычная артерии, заполнение контрастным веществом сосудов через ветви правой наружной сонной артерии)



а б



в

Рис. 4. а., б., в. — ангиограммы этапов эмболизации ветвей правой наружной сонной артерии (эмболизация микроспиралями)

За данный период рецидива кровотечения не выявлено.

Заключение

Методика одномоментного выполнения трахеостомии, эндоваскулярной эмболизации ветвей наружных сонных артерий и гастростомии безопасна, имеет удовлетворительные результаты, учитывая малое количество наблюдений, требует дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотова Р.С. Эмболизация при кровотечениях из опухолей головы и шеи. / Болотова Р.С., Хохриков Г.И., Маторин О.В. [и др.] // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. 2021. 10(6). С. 71–76. https://doi.org/10.17116/onkolog20211006171.
2. Долгушин Б.И. Интервенционные радиологические технологии в онкологии. Медицинская визуализация: Материалы III Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2009». 2009. 10 С. 4.
3. Дударев В.С. Эмболотерапия в интервенционной радиологии. / Дударев В.С., Акинфеев В.В., Жолнерович Е.М // Новости лучевой диагностики. 1998. 2 С. 28–29.
4. Загорулько А.И. Лечение плоскоклеточного рака головы и шеи комбинированным методом на основе трансартериальной химиоэмболизации. Клиническое наблюдение / Загорулько А.И., Черняев М.В., Козлов Д.В., Голубцов А.К. // Лабораторная и клиническая медицина. Фармация. 2024. Т. 4, № 1. С. 25–33. DOI: 10.14489/lcmp.2024.01. pp.000–000.
5. Карпин А.Д. Злокачественные новообразования в России в 2022 году (заболеваемость и смертность). / Карпин А.Д., Старинский В.В., Шахзадова А.О., Лисичникова И.А // М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. 2023. С.275.
6. Bachar G. Transarterial Embolization for Acute Head and Neck Bleeding: Eight-Year Experience With Emphasis on Rebleeding Risk in Cancer Patients. / Bachar, G., Esmat N., Stern S., [et al] // Laryngoscope. 2013. 123. Vol. 1220–1226.
7. Cameron A.C. Vascular Complications of Cancer Chemotherapy. / Cameron A.C., Touyz R.M., Lang N.N. // Canadian journal of Cardiology. 2016. 32(7). Vol. 852–862. DOI: 10.1016/j.cjca.2015.12.02.
8. Cannavale A. Computed Tomography Angiography findings can predict massive bleeding in head and neck tumours. / Cannavale A., Corona M., Nardis P. [et al] // European journal of Radiology. 2020. 125. Vol. 108–910. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.108910.
9. Chang F.-Ch. Patients with head and neck cancers and associated postirradiated carotid blowout syndrome: endovascular therapeutic methods and outcomes. / Chang F.-Ch., Lirng J.-F., Luo Ch.-B., [et al] // Journal of Vascular Surgery. 2008. 47(5). Vol. 936–45. DOI: 10.1016/j.jvs.2007.12.030.
10. Lu H.-J. Predisposing factors, management, and prognostic evaluation of acute carotid blowout syndrome. / Lu H.-J., Chen K.-W., Chen M.-H., [et al] // Journal of Vascular Surgery. 2013. 58(5). Vol. 1226–1235. DOI: 10.1016/j.jvs.2013.04.056.
11. Suárez C. Carotid blowout syndrome: modern trends in management. / Suárez C., Fernández-Alvarez V., Hamoir M., [et al] // Cancer Management and Research. 2018. 10. Vol. 5617–5628. DOI: 10.2147/CMAR.S180164.
12. Venkatesulu Bh.P. Radiation-Induced Endothelial Vascular Injury: A Review of Possible Mechanisms. / Venkatesulu Bh.P., Mahadevan L.Sh., Aliru M.L., [et al] // JACC: Basic to translational science. 2018. 3(4). Vol. 563–572. DOI: 10.1016/j.jacbts.2018.01.014.
13. Vilas Boas P.P. Endovascular Management of Patients with Head and Neck Cancers Presenting with Acute Hemorrhage: A Single-Center Retrospective Study. / Vilas Boas P.P., de Castro-Afonso L.H., Monsignore L.M., [et al] // Cardio Vascular and Interventional Radiology. 2017. 40(4). Vol. 510–519. DOI: 10.1007/s00270-016-1550-8.
14. Yamazaki H. Frequency, outcome, and prognostic factors of carotid blowout syndrome after hypofractionated re-irradiation of head and neck cancer using. / Yamazaki H., Ogita M., Kodani N., [et al] // CyberKnife: a multi-institutional study. 2013. 107(3). Vol. 305-9. DOI: 10.1016/j.radonc.2013.05.005.

© Загорулько Алексей Иванович (alexrus80@yandex.ru); Нистратов Григорий Павлович (hyppokrat-g@mail.ru);
Голубцов Андрей Константинович (andgol09@yandex.ru); Колединский Антон Геннадьевич (koledant@mail.ru);
Рыков Станислав Павлович (stanislas.rukov@yandex.ru); Мутасов Антон Геннадьевич; Волков Денис Геннадьевич
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.17

ПОСТПРОЦЕДУРНЫЕ ИЛИ ПОЗДНИЕ ОСЛОЖНЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ИМПЛАНТАЦИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОРТ-СИСТЕМ

POST-PROCEDURAL OR LATE COMPLICATIONS ARISING FROM IMPLANTATION AND USE OF PORT SYSTEMS

A. Zagorulko
A. Golubcov
G. Nistratov
S. Rykov

Summary. Currently, the use of totally implantable venous port systems can improve the quality of life of cancer patients. Despite the existing complications, the totally implantable venous catheter is safe and convenient for long-term intravenous treatment. Possible complications can be prevented or controlled if the totally implantable venous catheter is installed by experienced endovascular surgeons. Low infection rates and normal physical activity are advantages when using port systems.

Keywords: endovascular surgery, oncology, central veins, head and neck tumors, radiography.

Загорулько Алексей Иванович
кандидат медицинских наук, заведующий отделением, филиал «Онкоцентр №1 ГКБ имени С.С. Юдина ДЗ Москвы»; врач, сердечно-сосудистый хирург, ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы», г. Москва
alexrus80@yandex.ru
Голубцов Андрей Константинович
доктор медицинских наук, профессор, врач-онколог, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского», г. Москва
andgol09@yandex.ru
Нистратов Григорий Павлович
кандидат медицинских наук, врач, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения №2, г. Москва
hyppokrat-g@mail.ru
Рыков Станислав Павлович
врач, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения №2, г. Москва
stanislas.rukov@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время применение полностью имплантируемых венозных порт-систем может повысить качество жизни онкологических больных. Несмотря на существующие осложнения, полностью имплантируемый венозный катетер безопасен и удобен для долгосрочного внутривенного лечения. Возможные осложнения можно предотвратить или контролировать, если полностью имплантируемый венозный катетер будет установлен рентгенэндоваскулярными хирургами с достаточным опытом. Низкий уровень инфицирования и нормальная физическая активность являются преимуществами при использовании порт-систем.

Ключевые слова: рентгенэндоваскулярная хирургия, онкология, центральные вены, опухоли головы и шеи, рентгенография.

Резюме

Венозные порт-системы необходимы пациентам, которым планируется длительная внутривенная терапия. Чаще всего это онкологические пациенты, которым показана многокурсовая химиотерапия, парентеральное питание и переливание крови. Порт-система для подкожной имплантации состоит из камеры порта, соединенной с катетером, который пункционным способом погружен в центральную вену. Подкожное расположение всего устройства значительно улучшает качество жизни пациентов, снижает уровень инфицирования, в отличие от использования центральных венозных катетеров.

В этой статье представлены изображения нормального расположения центральных венозных порт-систем, краткосрочных и долгосрочных осложнений.

К поздним осложнениям относятся вращение и тромбоз камеры порта, защемление катетера, перелом и миграция. Механические осложнения включают (помимо неправильного расположения в сосуде с низким потоком) защемление или фрагментацию катетера, окклюзию

Таблица 1.
Возможные осложнения, связанные с имплантацией и использованием порт-системы

Ранние осложнения	Поздние осложнения
Неправильное расположение (внутривенное, внутрисердечное)	Инфекция камеры и катетера порт-системы
Аритмия	Венозный тромбоз, тромбоэмболия легочной артерии
Перфорация и кровотечение (гемоторакс, пневмоторакс, тампонада сердца)	Защемление катетера, перелом, миграция
Повреждение грудного лимфатического протока	Тромбоз катетера
Воздушная эмболия	Воздушная эмболия
Артериальное расположение	

катетера, образование фибриновой оболочки и повреждение камеры порта. Эти осложнения приводят к сбою системы, для того чтобы оценить необходимо выполнить исследование потока с использованием флюороскопии или цифровой субтракционной ангиографии [1,2].

В большом анализе исследователи Sofue K. и соавторы выявили у 4,3 % пациентов механическое осложнение по следующим причинам: длительное время инфузии, невозможность ввести физиологический раствор, подкожная экстравазация противоопухолевого препарата, отек руки, боль в шее или спине и невозможность пунктировать порт.

Если порт-систему невозможно проколоть, необходимо провести тщательный осмотр во время рентгеноскопии. Камера могла перекрутиться, особенно если она не была фиксирована узловыми швами к фасции (что в нашем отделении невозможно), в обязательном порядке проводится фиксация за технологические отверстия

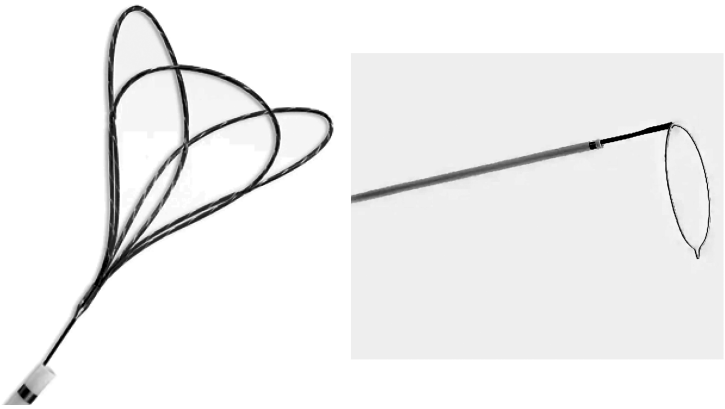


Рис. 1. (фото из интернета). Эндоваскулярная петля-ретривер one snare. Позолоченная петля из вольфрама и нитинола сохраняет круглую форму, обеспечивающую захват инородных тел.
Нитиноловый сердечник с памятью формы и высокой упругостью для поддержки при навигации по сосудам

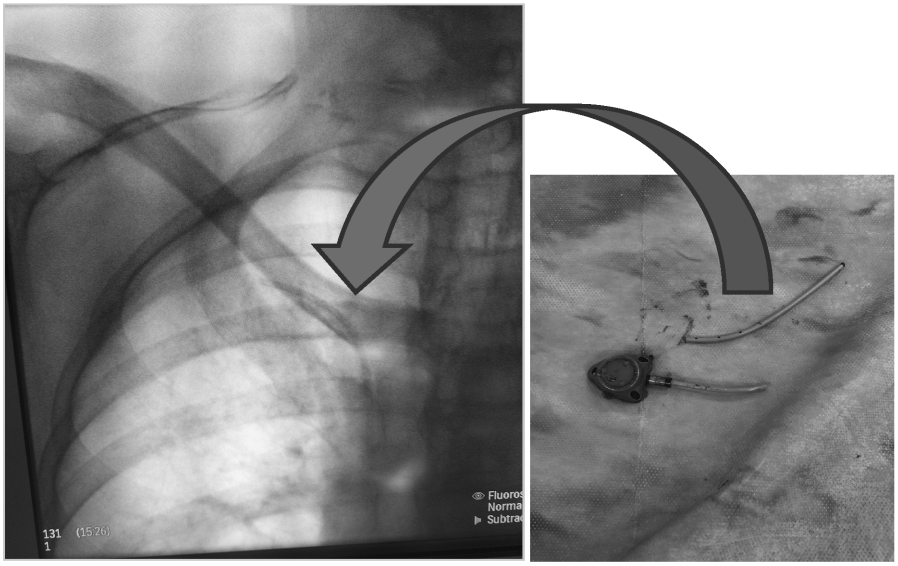


Рис. 2. (фото из личного архива). Отрыв и миграция катетера порт-системы

в камере порта и устье катетера, где одевается фиксирующая муфта. Однако в нашей практике встречался случай смещения подшитого порта: женщина с выраженной жировой клетчаткой после прогрессирования онкологического процесса значительно потеряла в массе, и подшитая камера перекрутилась и подтянула вверх катетер из верхней полой вены в брахеоцефальную вену.

Невозможность аспирации крови или повышенное сопротивление при инфузии — часто связаны с тромбозом камеры порта, пережатием катетера между ребром и ключицей (вот почему мы рекомендуем в большинстве случаев использовать яремный доступ) или фрагментацией катетера. Отсоединение и фрагментация катетера могут привести к эмболии фрагментов правых отделов сердца или даже легочной артерии с потенциально тяжелыми последствиями, такими как опасная для жизни тахикардия, перфорация сердца или легочные псевдоаневризмы [3,4]. В случае отсоединения катетера или фрагментации с эмболизацией методом выбора является чрескожное извлечение через бедренную вену в отделении ангиографии [5]. Петля-ловушка представляет собой катетер с направляющей петлей, которую хирург перемещает внутри катетера к фрагменту, чтобы захватить кончик. После того, как петля плотно затянута вокруг катетера (фрагмента), его можно безопасно извлечь. Существуют различные типы петель-ловушек, на (рис. 1) представлена эндоваскулярная петля-ретривер one snare, трехпетлевая и однопетлевая. У пациентов с запоздалой диагностикой фрагментации катетера образование фибриновой оболочки вокруг катетера с адгезией к сосуду или эндокарду может помешать его удалению [6].

Отрыв катетера, отсоединение или перелом встречается довольно редко. Выявляется, как правило, при возникновении тромбоза, боли, отека в области, где поставлен порт. Диагностируется при выполнении рентгенограммы или ангиографии. Фрагмент катетера удаляют, как правило, рентгенэндоваскулярные хирурги, поскольку открытым хирургическим способом — довольно калечащая операция.

После эксплантации порт-системы фрагмент катетера все еще виден (стрелка) в правых камерах сердца. Выполнили доступ через правую бедренную вену, на плетеном проводнике завели Гид-катетер 8F и эндоваскулярной петлей-ретривером захватываем сегмент оторвавшегося катетера, после этого безопасно извлекаем наружу.

Венозный тромбоз

Коллектив авторов Табатабэ О, Касумова ГГ, Кент ТС и другие провели большое исследование и выявили, что из 51049 пациентов у 1,81 % развился тромбоз верхней конечности [6]. Факторы риска включали возраст <65 лет, наличие большего количества сопутствующих заболеваний, анамнез любого тромбоза глубоких вен, темнокожие и наличие определенных злокачественных новообразований (таких как рак легких и рак желудочно-кишечного тракта).

Тромботические осложнения порт-систем возникают в двух формах: стеноз — сужение просвета вены, или окклюзия — полный блок кровотока в которой заведен катетер, вследствие травмы венозной стенки или образования тромба вокруг кончика катетера [7]. Первое может быть вызвано манипуляцией в месте сосудистого входа. Другим важным фактором риска является неправильное расположение кончика катетера в вене меньшего калибра с низким кровотоком, такую как плечеголовная или подключичная вена («катетер слишком короткий») (рис. 3 А). Последняя форма вызвана прокоагуляционным состоянием, которое приводит к образованию «фибриновой оболочки» вокруг катетера (рис. 3 В). Это

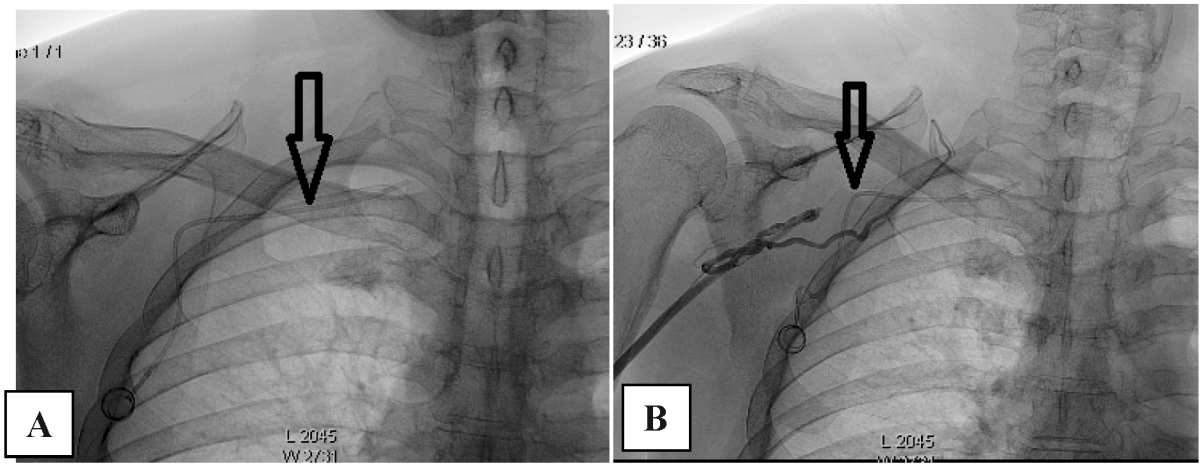


Рис. 3. А, В (фото из личного архива). А — порт-система установлена в правой подключичной вене, В — (ангиограмма) тромбоз правой подключичной вены с установленной порт-системой

может привести к увеличению сопротивления потоку при проведении химиоинфузий. Короткие инфузии тромболитиков восстанавливают проходимость трубки с высокой степенью успеха [8]. Однако такая фибриновая оболочка также является питательной средой для микроорганизмов и последующего образования биопленки и инфекций [7].

Ранее мы указывали, что расположение катетера в плечеголовной вене ведет к тромбообразованию в 85 % случаев. Так в данном примере катетер расположен в правой подключичной вене. Тромбоз данной вены возник в небольшие промежутки времени, чуть больше 35 суток. Удалось провести несколько курсов химиотерапии, и возникла клиническая картина тромбоза глубоких вен верхней конечности. Мы пунктировали правую кубитальную вену, выполнили ангиографию с контрастным усилением и получили визуальную картинку тотального тромбоза подключичной вены правой верхней конечности, где отток крови осуществляется по подкожным венам.

В данном клиническом примере мы удалили порт-систему из правой подключичной области и поставили слева через внутреннюю яремную вену для продолжения курсов химиотерапии с назначением антикоагулянтной терапии.

Рис. 4. (фото из личного архива). Имплантация порт-системы в левую внутреннюю яремную вену

У другого пациента выявили повышенное сопротивление тока физиологического раствора в камере порт-системы, провели ангиографию — определили тромбоз внутри и вокруг катетера. В данном случае введение тромболитиков восстановило хороший поток в системе.

Инфекция камеры и катетера порт-системы

Инфекции являются наиболее распространенным осложнением после имплантации венозной порт-системы [9,10]. Различают несколько видов: катетер-ассоциированные инфекции кровотока (КАИК), туннельная инфекция, инфекция выходного отверстия катетера, инфекция подкожного кармана. КАИК характеризуются выявлением положительной культуры в образце крови, взятом из катетера на 2 и более часа ранее, чем в образце крови, взятом из периферической вены, или рост микроорганизмов при микробиологическом исследовании дистального конца катетера. Туннельная инфекция — местное воспаление по ходу сформированного туннеля от места выходного отверстия катетера до манжеты или с локализацией только в области фиксации манжеты. В английской литературе можно встретить словосочетание «туннельный целлюлит». Инфекция выходного отверстия — местное воспаление с локализацией только в месте выхода катетера на поверхность кожи. Инфекция подкожного кармана — местное воспаление, локализующееся в месте установки камеры порт-системы.

Частота порт-ассоциированной инфекции составляет от 0,6 до 27 % [11]. В исследовании Шима и соавторов 45 из 1747 имплантированных порт-систем были эксплантированы из-за инфекции [12]. Наиболее распространенными возбудителями были различные виды стафилококков (род. Staphylococcus), грибы рода Candida и микобактерии. У пациентов с хорошим общим состоянием можно попытаться провести внутривенную терапию антибиотиками широкого спектра действия до тех пор, пока не будут идентифицированы специфические микроорганизмы и не будет адаптирована терапия. В подавляющем большинстве случаев антибактериальная терапия может спасти порт-систему. Более сложными и трудными для лечения являются рецидивирующие инфекции у пациентов с ослабленным иммунитетом, инфекции, вызванные грибковыми видами, или септические осложнения, такие как эндокардит или местные абсцессные образования [13–15].

Другие факторы, которые могут влиять на частоту инфекций, включают сильную микробную колонизацию места введения, нейтропению и длительность использования устройства. Венозные порт-системы имеют частоту инфицирования кровотока 2,81 случая на 1000 дней. В целом, имплантируемые устройства имеют более низкую частоту инфицирования, чем центральные венозные катетеры (ЦВК) или ПИК-катетеры, периферический имплантируемый венозный катетер [16, 17]. Как уже было описано, образование тромба или фибриновой оболочки может обеспечить биопленку для микроорганизмов. Следовательно, существует причинно-следственная связь между тромбозом и инфекциями, связанными с катетером.

На (рис. 5 А, В) представлена клиническая картина воспаления подкожного кармана, где имплантирована камера порт-системы и инфекционный процесс распространился по сформированному ранее подкожному каналу по ходу катетера. В данном случае лучше всего провести антибиотикотерапию и снять швы, «открыть» рану и удалить порт-систему. При необходимости химиотерапии использовать кубитальный или яремный доступ. Повторная имплантация порт-системы рекомендована после разрешения воспалительного процесса на контрлатеральной стороне.

Пролежни могут образовываться по разным причинам; истончение кожных покровов над мембраной камеры порта, проникновение химиотерапевтических препаратов, хирургическая травматизация подкожных слоев у астеничных пациентов, при воспалении и заживлении вторичным натяжением. Необходимо отметить и формирование гематом в кармане порт-системы после травмы внутрикожных и подкожных сосудов, над порт-системой, при многократных попытках установки иглы Губера неопытным персоналом. Но наиболее частая причина — проникновение химиопрепарата между камерой и кожей, так как некоторые лекарственные вещества очень агрессивны, то происходит воспаление и некроз тканей.

Такой порт подлежит немедленному удалению. Рану необходимо лечить, согласно правилам гнойной хирургии, открытым способом (вторичным натяжением), и только после полного заживления имплантировать другой порт. Проводить химиотерапию в данный период не рекомендовано.

Для предотвращения подобных случаев необходимо после установки иглы получить контроль венозной крови, при отсутствии такового переустановить иглу, а при извлечении иглы перекрывать капельницу для исключения попадания в клетчатку даже малого объема препаратов.

Воздушная эмболия

Венозная газовая эмболия может возникнуть во время имплантации, эксплантации и использования центральных венозных катетеров. Клинические проявления варьируются от бессимптомных до сердечно-сосудисто-

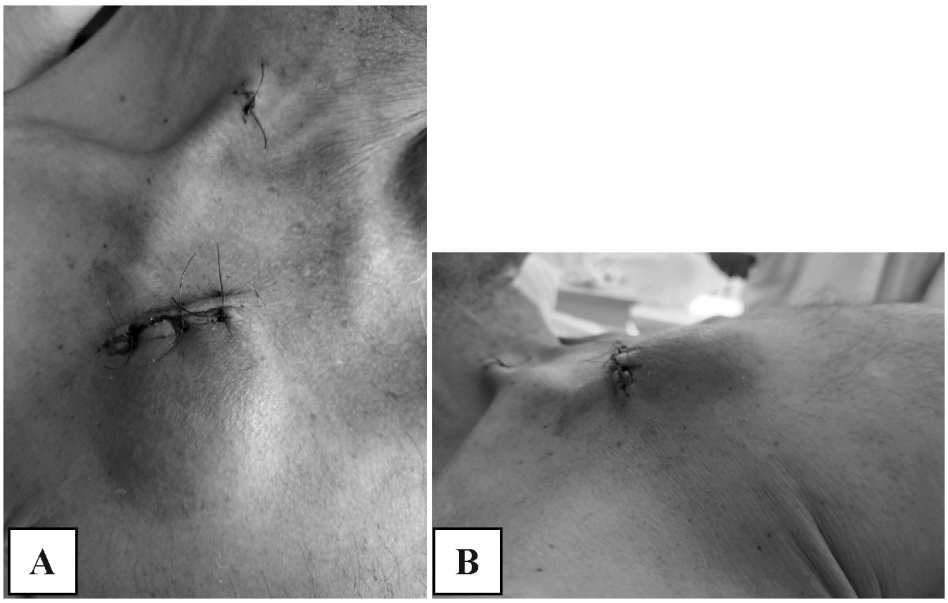


Рис. 5. А, В (фото из личного архива). Воспаление подкожного кармана и туннельная инфекция по ходу катетера

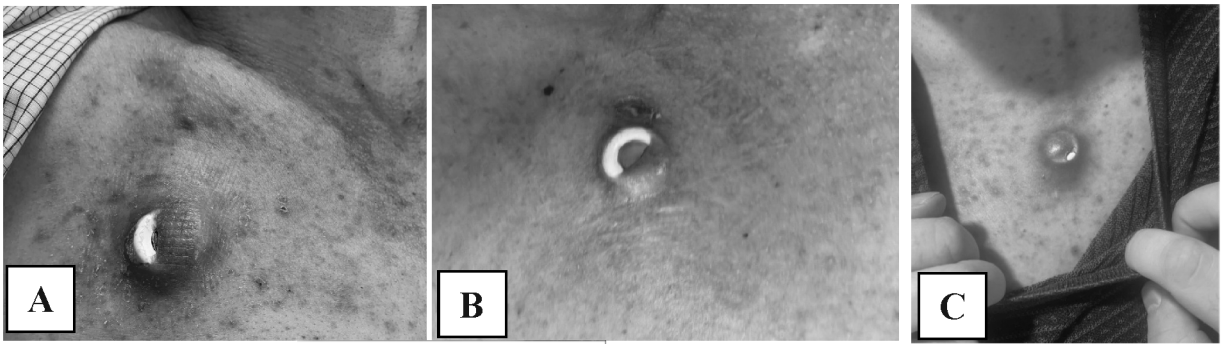


Рис. 6. А, В, С (фото из личного архива). Пролежни порт-системы

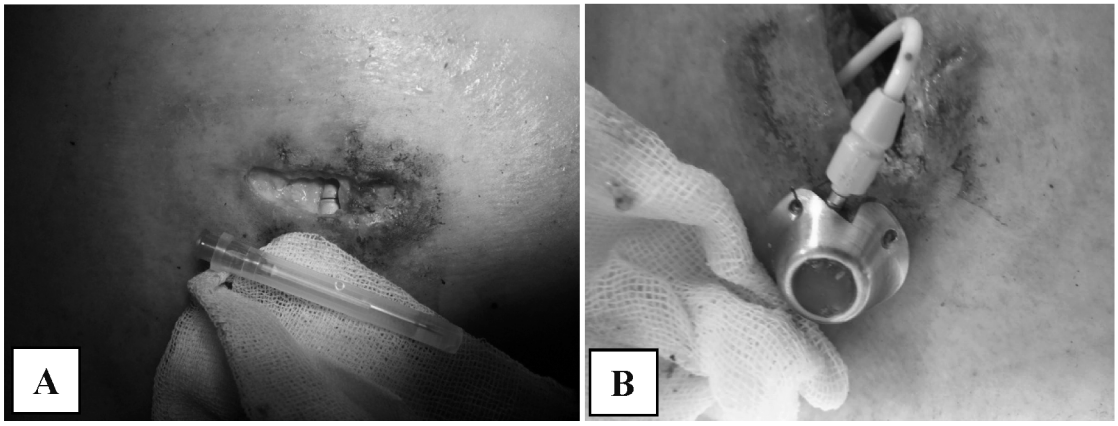


Рис. 7. A, B (фото из личного архива). Расхождение швов вследствие воспалительного процесса

го коллапса и смерти. Развитие и тяжесть возможных сердечно-сосудистых и легочных симптомов зависят от объема воздуха, аспирированного в венозную систему. Теоретически летальная доза для человека составляет 3–5 мл/кг массы тела. Клинический анамнез является наиболее важным фактором для диагностики эмболии, поскольку подозрение на венозную газовую эмболию основано на временной связи между инвазивной процедурой и появлением клинических симптомов. Полезным маневром для предотвращения воздушной эмболии является размещение пациента в положении Тренделенбурга [18,19].

Мы в своей практике после выполнения пункции, проведения интродьюсера и проводника в обязательном порядке накладываем зажим на край проводника, пока формируем подкожный карман. Это делается для предотвращения возможной воздушной эмболии.

Заключение

В данной клинической статье были представлены литературные данные и собственные наблюдения, связанные с имплантацией и эксплуатацией венозной подкожной порт-системы. Знание материала и достаточный опыт эндоваскулярного хирурга позволит минимизировать возможные осложнения. Безусловно данная система значительно улучшает качество жизни наших пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загорулько А.И. Имплантация портсистем — это уже рутина или остаются нерешенные вопросы? / А.И. Загорулько, С.П. Рыков, Д.В. Козлов // Международный журнал интервенционной кардиоангиологии. 2024. Приложение. С.114–115.
2. Sofue K. Flow confirmation study for central venous port in oncologic outpatient undergoing chemotherapy: evaluation of suspected system-related mechanical complications / Sofue K, Arai Y, Takeuchi Y, Sugimura K // Eur J Radiol. 2013. 82.Vol. e691–e696.
3. Oz K. Pulmonary artery pseudoaneurysm after a vascular access port catheter implantation / Oz K, Demirhan R, Onan B, Sancakli I // Ann Thorac Surg. 2009. 87. Vol. 295–297.
4. Gowda M.R. Positional ventricular tachycardia from a fractured mediport catheter with right ventricular migration—a case report / Gowda M.R., Gowda R.M., Khan I.A. [et al] // Angiology. 2004. 55. Vol. 557–560.
5. Gebauer B. Radiological interventions for correction of central venous port catheter migrations / Gebauer B., Teichgräber U.K., Podrabsky P. [et al] // Cardiovasc Intervent Radiol. 2007. 30. Vol. 216–221.
6. Tabatabaie O. Upper extremity deep venous thrombosis after port insertion: what are the risk factors? / Tabatabaie O, Kasumova G.G., Kent T.S. [et al] // Surgery. 2017. 162. Vol. 437–444.
7. Walser E.M. Venous access ports: indications, implantation technique, follow-up, and complications. / Walser E.M. // Cardiovasc Intervent Radiol. 2012. 35. Vol. 751–764.
8. Daeihagh P. Efficacy of tissue plasminogen activator administration on patency of hemodialysis access catheters / Daeihagh P., Jordan J., Chen J. [et al] // Am J Kidney Dis. 2000. 36. Vol. 75–79.
9. Teichgräber U.K. Outcome analysis in 3,160 implantations of radiologically guided placements of totally implantable central venous port systems / Teichgräber U.K., Kausche S., Nagel S.N. [et al] // Eur Radiol. 2011. 21. Vol. 1224–1232.
10. Chang L. Evaluation of infectious complications of the implantable venous access system in a general oncologic population / Chang L., Tsai J.S., Huang S.J. [et al] Am J. Infect Control. 2003. 31. Vol. 34–39.
11. Yildizeli B. Complications and management of long-term central venous access catheters and ports / Yildizeli B., Laçin T., Batirel H.F. [et al] // J Vasc Access. 2004. 5. Vol. 174–178.
12. Shim J. Incidence and risk factors of infectious complications related to implantable venous-access ports / Shim J., Seo T., Song M. [et al] // Korean J. Radiol. 2014. 15. Vol. 494–500.

13. Bouza E. Catheter-related infections: diagnosis and intravascular treatment / Bouza E., Burillo A., Muñoz P. // Clin Microbiol Infect. 2008. 8. Vol. 265–274.
14. O'Grady N.P. Guidelines for the prevention of intravascular catheter-related infections / O'Grady N.P., Alexander M., Burns L.A. [et al] // Clin Infect Dis. 2011. 52. Vol. e162–e193.
15. Fätkenheuer G. Central venous catheter (CVC)-related infections in neutropenic patients—guidelines of the infectious diseases working party (AGIHO) of the german society of hematology and oncology (DGHO) / Fätkenheuer G., Buchheidt D., Cornely O.A. [et al] // Ann Hematol. 2003. 82(Suppl 2). Vol. 149–157.
16. Yoshida J. Association between risk of bloodstream infection and duration of use of totally implantable access ports and central lines: a 24-month study / Yoshida J., Ishimaru T., Kikuchi T. [et al] // Am J Infect Control. 2011. 39. Vol. e39–e43.
17. Leonidou L. Catheter-related bloodstream infections: catheter management according to pathogen / Leonidou L., Gogos C.A. // Int J. Antimicrob Agents. 2010. 36(Suppl 2). Vol. 26–32.
18. Zoltowska D. A port-a-cath in aorta / Zoltowska D, Kalavakunta J. // Clin Case Rep. 2018. 6. Vol. 957–958.
19. Gordy S. Vascular air embolism / Gordy S., Rowell S. // Int J. Crit Illn Inj Sci. 2013. 3. Vol. 73–76.

© Загорулько Алексей Иванович (alexrus80@yandex.ru); Голубцов Андрей Константинович (andgol09@yandex.ru);
Нистратов Григорий Павлович (hyppokrat-g@mail.ru); Рыков Станислав Павлович (stanislas.rukov@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.19

ТЯЖЁЛАЯ ТРОПИЧЕСКАЯ МАЛЯРИЯ: «СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД»

SEVERE TROPICAL MALARIA: «MODERN PERSPECTIVE»

Yaya Latifatou

Summary. The article presents a comprehensive analysis of modern scientific data on severe tropical malaria. The features of the pathogenesis of the disease, including the mechanisms of damage to internal organs and the development of complications are considered. Modern diagnostic methods are described, among which the leading role belongs to microscopic examination of blood smears. The effectiveness of various treatment regimens is analyzed, showing the advantage of combined therapy with kinimax and fansidar. Particular attention is paid to preventive measures, including health education and chemoprophylaxis. It has been established that timely diagnosis and early initiation of specific therapy are key factors in a favorable outcome of the disease.

Keywords: tropical malaria, Plasmodium falciparum, pathogenesis, microscopic diagnostics, antimalarial therapy, complications of malaria, prevention, chemoprophylaxis, endemic regions, parasitemia.

Йайа Латифату
аспирант, ФГАОУ ВО Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва
yayalatifath@gmail.com

Аннотация. В статье представлен комплексный анализ современных научных данных о тяжелой тропической малярии. Рассмотрены особенности патогенеза заболевания, включая механизмы поражения внутренних органов и развития осложнений. Описаны современные методы диагностики, среди которых ведущая роль принадлежит микроскопическому исследованию мазков крови. Проанализирована эффективность различных схем лечения, показавшая преимущество комбинированной терапии кинимаксом и фансидаром. Особое внимание уделено профилактическим мероприятиям, включающим санитарно-просветительную работу и химиопрофилактику. Установлено, что своевременная диагностика и раннее начало специфической терапии являются ключевыми факторами благоприятного исхода заболевания.

Ключевые слова: тропическая малярия, *Plasmodium falciparum*, патогенез, микроскопическая диагностика, противомалярийная терапия, осложнения малярии, профилактика, химиопрофилактика, эндемичные регионы, паразитемия.

Тяжёлая тропическая малярия, вызываемая *Plasmodium falciparum*, продолжает оставаться одной из наиболее опасных паразитарных инфекций, представляющих угрозу для жизни человека. Это заболевание широко распространено в тропических и субтропических регионах, где ежегодно регистрируются миллионы случаев заражения, сопровождающихся высокой летальностью. Особую опасность представляют осложнения, такие как церебральная малярия, острая почечная недостаточность, тяжёлая анемия и полиорганная дисфункция, которые развиваются при несвоевременной диагностике и лечении.

Согласно последним данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в 2021 году в мире зарегистрировано 247 миллионов случаев малярии, 619 тысяч смертей. Основное бремя болезни приходится на Африку (95 % случаев и 96 % смертей). В России в 2022 году выявлено 113 завозных случаев малярии, что на 20 % больше, чем в 2021 году. Основной возбудитель — *Plasmodium falciparum* (83 случая). Большинство случаев завезено из Африки (91,2 %), преимущественно из Центральной Африканской Республики, Нигерии и Камеруна. Зафиксировано 2 летальных исхода от тропической малярии. Основная причина заражения — недостаточная профилактика у россиян, посещающих эндемичные страны.

Актуальность изучения тяжёлой тропической малярии обусловлена не только её широким распространением, но и сложностью патогенеза, включающего механизмы адгезии инфицированных эритроцитов к эндотелию сосудов, системное воспаление и нарушение микроциркуляции. Кроме того, диагностика заболевания на ранних стадиях затруднена из-за неспецифичности клинических проявлений, что требует применения современных лабораторных методов, таких как микроскопия мазков крови, экспресс-тесты и молекулярно-генетические исследования.

Цель исследования

Систематизация современных научных данных о патогенезе, методах диагностики и лечения тяжелой тропической малярии для оптимизации терапевтических подходов и снижения риска осложнений.

Материалы и методы исследования

В работе использован метод теоретического анализа научной литературы по проблеме тяжелой тропической малярии. Проведено изучение отечественных и зарубежных научных публикаций, посвященных патогенезу, диагностике и лечению заболевания. Применялся метод анализа клинических случаев, представленных в рабо-

тах В.А. Зиминой, Л.А. Даулетовой, К.Ч. Емероле с соавторами, отражающих особенности течения тропической малярии у пациентов, вернувшихся из эндемичных регионов. Использован метод сравнительного анализа диагностических подходов, описанных в исследованиях И.Ю. Щита и С.Ф. Бикетова, включая микроскопию мазков крови, экспресс-тесты и молекулярно-генетические методы. В работе применен метод обобщения результатов исследований О.А. Левашовой и А.А. Прокофьева по эффективности различных схем лечения тяжелой тропической малярии. Проведен анализ профилактических мероприятий на основе данных исследований М.С. Маляренко и Р.Н. Протасовицкой, направленных на предупреждение заболевания малярией.

Результаты и обсуждения

В своих исследованиях Е.А. Темникова подробно описывает малярию как группу трансмиссивных инфекций, вызываемых простейшими рода Plasmodium. Особое внимание уделяется механизму передачи возбудителя через укусы инфицированных самок комаров Anopheles. Жизненный цикл малярийного плазмодия в организме человека начинается с момента попадания паразита через укус комара. В течение 1–3 часов возбудитель достигает кровеносного сосуда, используя сложные биохимические процессы. После проникновения в кровоток паразиты быстро перемещаются в печень, где преодолевают барьер из клеток Купфера и внедряются в гепатоциты [1].

Интересные наблюдения представлены М.С. Маляренко и Р.Н. Протасовицкой относительно особенностей малярийных комаров. На территории Республики Беларусь обнаружено четыре вида анофелесов, среди которых основным потенциальным переносчиком является Anopheles messeae. Особенности диагностики заболевания связаны с тем, что на ранних стадиях инфекции клинические проявления отсутствуют, а лабораторное подтверждение затруднено. Первые симптомы появляются только после разрушения инфицированных гепатоцитов и выброса мерозоитов в кровоток. В процессе эритроцитарной шизогонии происходит циклическое развитие паразитов внутри красных кровяных клеток с последующим их разрушением. Уровень паразитемии постепенно нарастает до порога, вызывающего характерную клиническую картину с лихорадкой. Сезонность заболевания связана с биологией переносчика — пик активности комаров приходится на летний период при оптимальной температуре воды 10–11°C для развития личинок. Это определяет необходимость проведения основных противоэпидемических мероприятий в весенне-летний период [2].

В современной медицине проблема тропической малярии остается одной из наиболее актуальных. Как отмечают в своем исследовании И.В. Шестакова с соавторами, особую важность представляет классификация очагов малярии, разработанная ВОЗ. Данная классификация позволяет эффективно отслеживать эпидемиологическую ситуацию, выделяя различные типы очагов от псевдоочагов до неактивных зон. Возбудителем тропической малярии является *Plasmodium falciparum*, относящийся к типу простейших. Особую опасность представляет географическое распространение заболевания. В Афротропической области наблюдается наиболее стабильная передача *P. falciparum*, что создает серьезные проблемы для контроля заболевания [3].

Патогенез тропической малярии характеризуется сложным каскадом патофизиологических процессов, запускаемых при проникновении *Plasmodium falciparum* в организм человека. После попадания спорозоитов через укус комара происходит быстрая миграция возбудителя в печень, где начинается первая фаза бесполого размножения паразита. В гепатоцитах происходит активное деление плазмодиев с образованием тысяч мерозоитов, которые после разрушения клеток печени попадают в кровоток. Данный этап протекает бессимптомно и длится около недели. Последующее внедрение мерозоитов в эритроциты запускает эритроцитарную шизогонию — ключевое звено патогенеза заболевания. Особую опасность представляет способность инфицированных эритроцитов прикрепляться к эндотелию капилляров внутренних органов. Этот процесс реализуется через экспрессию специфических адгезивных белков на поверхности пораженных эритроцитов. В результате происходит блокада микроциркуляции, что приводит к развитию полиорганной недостаточности.

Массивный гемолиз эритроцитов вызывает выброс продуктов распада гемоглобина и паразитарных токсинов, которые стимулируют выработку провоспалительных цитокинов. Развивается системная воспалительная реакция, сопровождающаяся лихорадкой, нарушениями гемостаза и метаболическими расстройствами. При тяжелом течении заболевания наблюдается поражение центральной нервной системы с развитием церебральной малярии. Патогенез этого осложнения связан с секвестрацией инфицированных эритроцитов в капиллярах головного мозга, что приводит к отеку мозговой ткани и неврологическим нарушениям. Существенную роль в патогенезе играет развитие тяжелой анемии, обусловленной не только разрушением эритроцитов, но и угнетением эритропоэза. Нарушения микроциркуляции в почках могут привести к острому повреждению почек с развитием почечной недостаточности.

Диагностика тропической малярии требует комплексного подхода. И.Ю. Щит и С.Ф. Бикетов в своих исследованиях подробно описывают современные методы диагностики. Золотым стандартом остается микро-

скопическое исследование толстой капли и мазков крови, окрашенных по методу Романовского–Гимзы. Метод обладает высокой чувствительностью (95 %) и специфичностью (98 %), позволяя выявить от 50 до 200 паразитов в 1 мкл крови. Значительный прогресс достигнут в области экспресс-диагностики. Быстрые диагностические тесты (БДТ) способны определять специфические антигены плазмодия, включая богатый гистидином белок 2 (pHRP-2), характерный для *P. falciparum*. Чувствительность данных тестов достигает 85–94,8 %, а специфичность — 95,2–99 %. Перспективным направлением является развитие молекулярно-генетических методов диагностики, таких как NASBA, tHDA, RPA и LAMP. Особого внимания заслуживает метод петлевой изотермической амплификации (LAMP), позволяющий проводить исследования в изотермических условиях с высокой специфичностью и чувствительностью [4].

В.А. Зимина с соавторами описали показательный клинический случай, демонстрирующий важность лабораторной диагностики при подозрении на малярию. При поступлении 48-летнего пациента после возвращения из Сьерра-Леоне основными симптомами были лихорадка в течение 7 дней и среднетяжелое состояние. Лабораторные исследования выявили лейкопению, тромбоцитопению, повышенный Д-димер (9315 нг/мл) и С-реактивный белок (160 мг/л). Решающим диагностическим методом стала микроскопия мазка крови, где обнаружены характерные морфологические признаки *Plasmodium falciparum*: более 30 % эритроцитов содержали паразитов на стадии кольцевидного трофозоита, с наличием специфических форм «наездников» [5].

Интересный случай представлен Л.А. Даулетовой с соавторами, описавшими течение тропической малярии у 34-летнего пациента после пребывания в Западной Гвинее. Клиническая картина включала классическую триаду: озноб, жар, потоотделение. Лабораторно определялись тромбоцитопения (73×10^9/л), лейкопения ($3{,}7\times10^9$/л), повышение трансаминаз и билирубина. Диагноз подтвержден обнаружением *P. falciparum* в толстой капле и мазке крови [6].

В обоих случаях подтверждается значимость микроскопического исследования как «золотого стандарта» диагностики малярии. Своевременная диагностика позволяет начать специфическую терапию и предотвратить тяжелые осложнения заболевания.

В современной практике проблема тяжелой тропической малярии остается актуальной, что подтверждается исследованиями ряда авторов. О.Н. Домашенко в своих работах подчеркивает, что основные клинические проявления тропической малярии могут имитировать различные заболевания, что затрудняет своевременную диагностику. Особую опасность представляют осложнения, включающие церебральную кому, острую почечную и печеночную недостаточность, инфекционно-токсический шок. К.Ч. Емероле с соавторами провели масштабный анализ 32 случаев тяжелой falciparum малярии в период 2020–2023 гг. Исследование показало, что у заболевших отсутствовала химиопрофилактика. Более 88% пациентов поступали в стационар позже 5 дня от начала симптомов, что существенно повышало риск развития тяжелых осложнений [7,8].

И.Ю. Щит отмечает критическую важность своевременной диагностики. Золотым стандартом остается микроскопическое исследование мазков крови. При этом экспресс-тесты, выявляющие специфические антигены, хотя и дают быстрый результат, имеют ограничения при низкой паразитемии и чувствительны к условиям хранения. Лабораторная диагностика включает исследование толстой капли и тонкого мазка крови, окрашенных по Романовскому–Гимзе, ПЦР-диагностику и определение специфических антигенов методом экспресс-тестирования [9].

В современных исследованиях тяжелой тропической малярии особое внимание уделяется динамике лабораторных показателей и эффективности различных схем лечения. О.А. Левашова с соавторами в своем исследовании отмечает, что основным методом диагностики является микроскопия мазков периферической крови. При наблюдении за динамикой концентрации *P. falciparum* было выявлено двукратное увеличение паразитемии в первые сутки стационарного лечения. Важным наблюдением стало быстрое снижение уровня паразитемии от максимальных значений до 23352 в мкл крови в течение суток, что подтверждает необходимость контроля каждые 4–6 часов. Исследователи обнаружили развитие анемического синдрома, характеризующегося снижением уровня гемоглобина, гематокрита, количества эритроцитов и средный обьем эритроцитов MCV. Патогенез анемии при малярии многофакторный и связан не только с разрушением эритроцитов при разрыве шизонта, но и с ускоренным разрушением незараженных эритроцитов [10].

Основными этиотропными препаратами для лечения тяжёлых форм тропической малярии, согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) 2010 года, являются артесунат и артеметер. По мнению Л.Ф. Морозовой, Н.А. Турбабиной, Е.В. Степановой, эти препараты, относящиеся к группе производных артемизинина, обладают высокой эффективностью в воздействии на кровяные стадии малярийного плазмодия, а также на гаметоциты, что способствует быстрому снижению паразитемии и улучшению состояния пациента. Однако их фармакокинетические особенности, такие как быстрое выведение из организма, создают предпосылки для развития рецидивов заболевания и формирования

устойчивости паразитов к терапии. В связи с этим ВОЗ настоятельно рекомендует избегать монотерапии артемизининами и использовать их исключительно в комбинации с другими противомалярийными средствами.

В отдельном исследовании А.А. Прокофьевой и ее коллеги провели сравнительный анализ эффективности различных схем лечения на 200 пациентах. Наиболее эффективным оказалось парентеральное введение комбинации кинимакса с фанзидаром, при котором наблюдалась более быстрая нормализация температуры и исчезновение паразитемии. При этом режиме лечения рецидивы отмечались лишь в 1,06 % случаев, в то время как при использовании хлорохина частота рецидивов достигала 8,6 %. При легких формах малярии показано применение лариама, который продемонстрировал отсутствие рецидивов в исследуемой группе. Добавление тетрациклина к основной терапии кинимаксом и фанзидаром эффективно предотвращало развитие рецидивов, хотя и не влияло на сроки исчезновения паразитемии и лихорадки [11].

В современной медицинской практике особое значение приобретает профилактика малярии, что подтверждается исследованиями М.С. Маляренко и Р.Н. Протасовицкой. Учёные подчёркивают важность санитарно-просветительной работы как ключевого инструмента в борьбе с распространением заболевания. Особую ценность представляет работа с подрастающим поколением в контексте формирования культуры здоровья. По мнению М.С. Маляренко, ключевым аспектом профилактической работы является формирование у населения готовности к своевременному обращению за медицинской помощью при появлении первых симптомов заболевания. Особое внимание уделяется информированию о правилах поведения при посещении эндемичных по малярии регионов [2].

Выводы

Проведенный анализ научной литературы и клинических случаев позволяет заключить, что тяжелая тропическая малярия представляет серьезную медицинскую проблему, характеризующуюся сложным патогенезом и высоким риском развития жизнеугрожающих осложнений. Своевременная диагностика является ключевым фактором успешного лечения. Микроскопическое исследование мазков крови остается «золотым стандартом» диагностики, однако современные методы, включая экспресс-тесты и молекулярно-генетические исследования, существенно расширяют диагностические возможности.

В терапии наибольшую эффективность демонстрирует комбинированное лечение с использованием кинимакса и фанзидара, обеспечивающее минимальный риск рецидивов (1,06 %). Добавление тетрациклина к основной схеме терапии способствует предотвращению рецидивов заболевания.

Проведённые исследования показали, что комплексный подход к санитарно-просветительной работе, включающий взаимодействие с образовательными учреждениями, способствует повышению эффективности профилактических мероприятий и снижению риска заболеваемости малярией среди населения. Профилактические мероприятия, включающие санитарно-просветительную работу и химиопрофилактику при посещении эндемичных регионов, играют решающую роль в предупреждении заболевания. Особую значимость имеет информирование населения о необходимости раннего обращения за медицинской помощью при появлении первых симптомов.

Практическая значимость исследования заключается в систематизации современных подходов к диагностике и лечению тяжелой тропической малярии, что может быть использовано в клинической практике для оптимизации ведения пациентов и снижения риска развития осложнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Темникова Е.А. Малярия. Узнать заново. Заметки российского врача в Африке / Е.А. Темникова // Лечащий врач. — 2021. — № 1. — С. 50–55. — DOI 10.26295/OS.2021.14.69.011.
2. Маляренко М.С. Малярия: эпидемиология и профилактика / М.С. Маляренко, Р.Н. Протасовицкая // Innova. — 2023. — № 2(31). — С. 44–49.
3. Шестакова И.В. Малярия / И.В. Шестакова Т.М. Моренец В.Н. Городин Е.Б. Исаева. — Краснодар: Индивидуальный предприниматель Кабанов Виктор Болеславович (Издательство «Новация»), 2020. — 240 с. — ISBN 978-5-00179-031-0.
4. Щит И.Ю. Методы диагностики малярии / И.Ю. Щит, С.Ф. Бикетов // Бактериология. — 2022. — Т.7, №4. — С.79–84. — DOI 10.20953/2500–1027-2022-4-79-84.
5. Зимина В.А. Лабораторная диагностика тропической малярии (клинический случай) / В.А. Зимина, И.Ю. Стюф, А.А. Сапегин [и др.] // Материалы XXVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Клиническая лаборатория: вклад в борьбу с пандемией: Сборник тезисов, Москва, ЦМТ, 04–06 апреля 2022 года. — Москва: Издательство «У Никитских ворот», 2022. — С. 54–55.
6. Даулетова Л.А. Клинический случай течения тропической малярии тяжелой степени тяжести / Л.А. Даулетова, Б.А. Искалиев, Р.С. Аракельян // Эпомен: медицинские науки. — 2024. — № 13. — С. 37–40.

7. Домашенко О.Н. Малярия: актуальность диагностики и лечения в Донецком регионе / О.Н. Домашенко, И.И. Захарова, Л.Д. Агаркова [и др.] // Вестник гигиены и эпидемиологии. — 2023. — Т. 27, № 1. — С. 68–71.
8. Емероле К.Ч. Современная клинико-эпидемиологическая характеристика завозных случаев тяжелой тропической малярии / К.Ч. Емероле, В.Б. Ченцов, Н.А. Половинкина [и др.] // Инфекционные болезни в современном мире: эволюция, текущие и будущие угрозы : Сборник трудов XVI Ежегодного Всероссийского Конгресса по инфекционным болезням имени академика В.И. Покровского, Москва, 25–27 марта 2024 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Медицинское Маркетинговое Агентство», 2024. — С. 72.
9. Щит И.Ю. Проблемы диагностики малярии / И.Ю. Щит, П.В. Соловьев, С.Ф. Бикетов // Бактериология. — 2023. — Т. 8, № 4. — С. 63–66. — DOI 10.20953/2500–1027-2023-4-63-66.
10. Левашова О.А. Анализ динамики лабораторных показателей пациента с тропической малярией тяжелого течения / О.А. Левашова, Ф.Ш. Еникеева, К.В. Чернова [и др.] // Вестник новых медицинских технологий. — 2024. — Т. 31, № 2. — С. 72–77. — DOI 10.24412/1609–2163-2024-2-72-77.
11. Прокофьева А.А. Основные подходы к выбору терапии тропической малярии в XXI веке / А.А. Прокофьева, О.С. Являнская, А.Ю. Неручев // Поколение будущего: взгляд молодых ученых — 2021 : сборник научных статей 10-й Международной молодежной научной конференции, Курск, 11–12 ноября 2021 года. Том 2. — Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. — С. 380–383.

© Йайа Латифату (yayalatifath@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.20

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИННО-ОСКОЛОЧНО-НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ ТРАВМЫ МЯГКИХ ТКАНЕЙ И ОРГАНОВ МАЛОГО ТАЗА У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF MODELING OF MINE AND SHRAPNEL DIRECTED TRAUMA OF SOFT TISSUES AND PELVIC ORGANS IN LABORATORY ANIMALS

S. Kapralov
M. Polidanov
R. Petrunkin
A. Kashikhin
K. Volkov
V. Maslyakov

Summary. *The aim of the study* is to experimentally substantiate a new method of modeling the mine-axillary action of soft tissue and pelvic organ trauma in laboratory animals. *Materials and Methods*. The studies were carried out on 20 female laboratory rats of «Standard» breed weighing 200±50 g. *Results of the study*. It was found out that the mine-shrapnel injuries received with the use of the developed method in all experimental animals were identical by the nature and severity of soft tissue injuries, their localization, shape, area and depth. In each laboratory animal there was a complete rupture of the uterine wall with its separation from the ligaments and from the aponeurosis of Denon-Willier, limiting the vagina from the rectum. Morphologic evaluation performed during the experiment allowed to establish that the edges of the rupture were uneven, with signs of smearing and hemorrhage. In the surrounding tissue there was pronounced acute inflammation with many bacillary leukocytes and observed foci of coagulation necrosis. *Conclusions*. Thus, the obtained experimental data confirm that the developed method provides obtaining of reproducible model of mine- and fragmentation-directed trauma action, will allow to use it for modeling of lesions corresponding to mine- and fragmentation-directed trauma action (by shock wave and damage by impacting fragments) of soft tissues and pelvic organs in rats.

Keywords: mortar fragmentation injury, strikeball grenade, experimental modeling, female rats.

Капралов Сергей Владимирович
Доктор медицинских наук, доцент,
Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского
sergejkapralov@yandex.ru
Полиданов Максим Андреевич
специалист научно-исследовательского отдела,
Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru
Петрунькин Родион Павлович
Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
Кашихин Андрей Андреевич
Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
Волков Кирилл Андреевич
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского»
Масляков Владимир Владимирович
Доктор медицинских наук, профессор,
Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского;
Доктор медицинских наук, профессор,
Медицинский университет «Реавиз»
maslyakov@inbox.ru

Аннотация. *Цель исследования* — экспериментально обосновать новый способ моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных. *Материалы и методы*. Исследования проводились на 20 лабораторных крысах-самках породы «Стандарт» массой 200±50 г. *Результаты исследования*. Было установлено, что минно-осколочно-направленного действия травмы, полученные с использованием разработанного способа, у всех подопытных животных были идентичны по характеру и степени тяжести повреждений мягких тканей, их локализации, форме, площади и глубине. У каждого лабораторного животного произошел полный разрыв стенок матки с отделением ее от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки. Проведенная в ходе эксперимента морфологическая оценка позволила установить, что края разрыва неровные, с признаками размозженности и кровоизлияния. В окружающей ткани выраженное острое воспаление с большим количеством палочкоядерных лейкоцитов и наблюдающимися очагами коагуляционного некроза. *Выводы*. Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают, что разработанный способ обеспечивает получение воспроизводимой модели минно-осколочно-направленного действия травмы, позволит использовать ее для моделирования поражений, соответствующих минно-осколочно-направленного действия травмы (ударной волной и повреждения поражающими осколками) мягких тканей и органов малого таза у крыс.

Ключевые слова: минно-осколочно-направленного действия травма, страйкбольная граната, экспериментальное моделирование, самки-крыс.

Введение

Моделирование минно-осколочно-направленного действия травм (МОНТ) в эксперименте на лабораторных животных, является необходимым условием для разработки новых, а также усовершенствования существующих способов лечения МОНТ. Однако наиболее существенным недостатком имеющихся моделей МОНТ является их труднодоступность, что обусловлено тем, что для их воспроизведения необходимы использование специальных средств в условиях военного полигона [1], электродетонаторов [2], гранат или самодельных взрывных устройств на основе пластида [3] и специальные разрешения. Кроме того, существующие способы, как правило, предполагают использование крупных экспериментальных животных (свиньи, собаки). Все указанное значительно суживает область их применения в экспериментальной медицине.

Известен способ моделирования минно-взрывного ранения [2]. Согласно способу ранения наносят электродетонатором ЭДП-р, создающим взрывную газовую струю, вызывающую повреждения кожи и мышц задней поверхности бедра у крыс. Электродетонатор устанавливают на расстоянии 11 см от места поражения, используя полиуретановый блок. Входное повреждение составляет 10±2 мм, раневой канал — 18±3 мм. Взрыв вызывает разрушение мягких тканей, кровотечение и общий коммоционно-контузионный синдром. При правильном расположении удаётся избежать переломов костей.

К недостаткам указанного способа моделирования, предусматривающего проведение взрывных работ, относятся не только необходимость его реализации в условиях специального полигона, получение особого разрешения, но и высокая трудоемкость подготовительных работ.

Из уровня техники известен способ моделирования [4], Минно-взрывную травму наносят с помощью строительно-монтажных пистолетов «СМП-3М» калибром 12 мм и «ПЦ-84» калибром 6,8 мм без поршня. В стволе СМП размещают пыж в виде бумажной салфетки со стальными осколками размером 3–5×1,5 мм общей массой 0,2 г. Это позволяет обеспечить воздействие направленной ударной волны с вторичными ранящими агентами и имитировать взрыв.

Однако данный способ требует нескольких вмешательств, что увеличивает срок моделирования. К тому же для реализации способа требуется применение специально-разработанной стойки, состоящей из металлической пластины и закрепленного на ней диска с углублением под прижимную часть.

Известно нанесение огнестрельных ран, произведенных снарядами ручного огнестрельного оружия, и ран, произведенных в результате подрыва снаряда артиллерийского оружия. Ручное оружие заряжается пулями различных систем, и характер ранения находится в чрезвычайно большой зависимости от системы пули [5]. Пулевая рана похожа на колотую и ушибленную рану, но имеет характерные особенности. Вокруг входного отверстия огнестрельной раны присутствуют следы ожога и импрегнация частицами пороха. Сквозная огнестрельная рана имеет два отверстия — входное и выходное, а пуля может пробить тело насквозь или остаться в глубине тканей, в последнем случае рана называется слепой. Выходное отверстие всегда больше входного, нередко с разорванными вывороченными краями. Величина выходного отверстия в значительной мере зависит и от мышечной массы, через которую проходит снаряд (чем больше масса, тем большая сопротивляемость тканей боковому удару пули, тем больший разрыв тканей), и от характера (структуры) поражаемой ткани. Иногда выходных отверстий два или больше, что зависит от дробления пули на два или несколько кусков, из которых каждый может дать свое отверстие.

Однако механизм огнестрельного повреждения следует строго разграничивать. В то время как пули современного оружия обладают строго определенными баллистическими свойствами (форма, род движения, живая сила, масса) и при прочих равных условиях вызывают одинаковые по интенсивности повреждения; баллистические свойства осколков непостоянны, вследствие чего действие их на ткани варьирует в широких пределах.

Наиболее близким к заявляемому является способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости [6], включающий нанесение травмы на предварительно выстриженную поверхность бедра находящегося под наркозом мелкого лабораторного животного — крысы. Травму наносят за счет организации взрыва путем подрыва взрывного заряда, в качестве которого используют пиротехническое изделие бытового назначения — обыкновенную терочную петарду Корсар-2, которую устанавливают в бедре крысы в непосредственной близости от кости — на расстоянии 0,5–0,8 см от нее, в канале длиной 2,0–2,5 см, сформированном в области расположения полусухожильной, полуперепончатой и двуглавой мышц бедра, через линейный разрез кожи длиной 0,8–1,0 см, выполненный в средней трети латеральной поверхности бедра крысы параллельно длиннику бедренной кости, для чего тупым способом, с помощью зажима, минимально травмируя ткани, раздвигают кожу и расслаивают мышцы бедра. Петарду Корсар-2 устанавливают таким образом, чтобы ее часть от места запала выступала на 2 см над поверхностью кожи, а оставшаяся часть располагалась в сформированном канале и частично, а именно на 0,3–1,0 см, выступала из контрапертуры на противоположной поверхности бедра. Для модели-

рования изолированной взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости используют крыс с массой тела 320±30 г.

Однако данный способ требует проведения нескольких оперативных вмешательств, подбора взрывчатых элементов, что увеличивает срок моделирования.

В связи с вышеперечисленным, цель исследования: экспериментально обосновать новый способ моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на 20 лабораторных крысах-самках породы «Стандарт» массой 200±50 г. Все манипуляции и содержание животных было регламентировано локальным этическим комитетом Медицинского университета «Реавиз» (протокол № 10, 10.10.2024). Условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в виварии научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (актуализированным от 01.01.2021).

Результаты и их обсуждение

Способ осуществляется следующим образом. По стандартной методике проводили общую анестезию лабораторных животных за 30 минут до начала реализации заявляемого способа. Затем на области промежности лабораторного животного выстригали шерсть, оставляя шерстяной покров высотой не более 1–2 мм. МОНТ моделировали с помощью страйкбольной гранаты M67 RS (СГ) (рис. 1), выпускающей в качестве условно-поражающего элемента пластиковые шары диаметром 2 мм, выполняющие роль осколочных снарядов, содержащиеся внутри корпуса СГ 1.

Условная мощность взрыва составляет до 0,5 граммов пороха. Корпус СГ выполнен из пластика. Диаметр гранаты 6,35 см, длина по запалу 9,2–9,25 см, масса около 115 (±5-10) граммов. Радиус поражения осколками гранаты 15 метров, радиус возможного поражения 25 метров. Производство ООО «Страйком» (г. Москва, Россия).

Для моделирования МОНТ, лабораторное животное размещают в закрытом пространстве, в контейнере

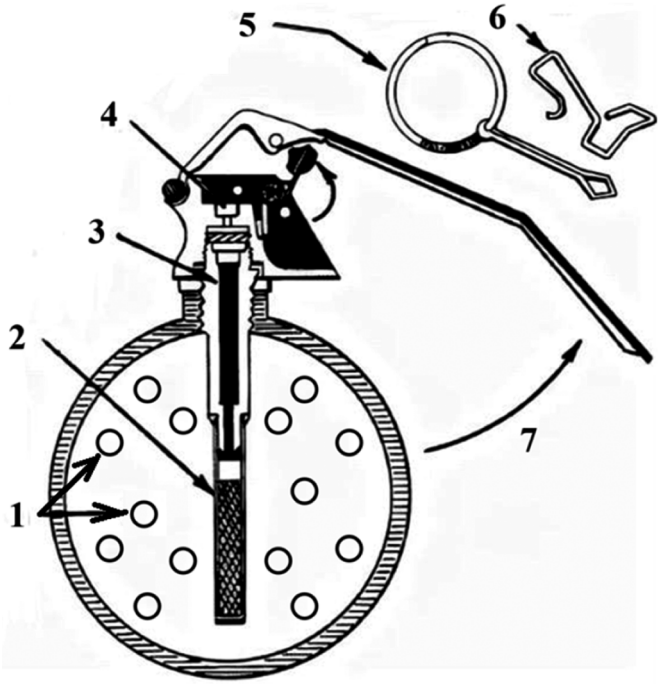


Рис. 1. Модель страйкбольной гранаты M67 RS

Примечание: Позициями на рисунке обозначены: 1 — поражающие элементы (шары) в корпусе страйкбольной гранаты; 2 — детонационная часть, состоящая из порошкового магния и перхлората калия; 3 — запал; 4 — корпус запала; 5 — предохранительная скоба; 6 — усики предохранительной скобы; 7 — спусковой рычаг

(оцинкованном баке с закрывающейся крышкой, диаметром 51 см, объемом 100 л) лежа на спине с разведенными и фиксированными задними лапами. Лапы фиксируют таким образом, чтобы участок промежности, подлежащий травматизации, находился на уровне разлета и рикошета поражающих элементов в виде пластиковых шаров диаметром 2 мм, выполняющих роль осколочных снарядов, содержащихся внутри корпуса СГ на расстоянии ±50 см. Пусковое устройство ориентируют по вектору действия на промежность. Для приведения устройства в рабочее положение СГ фиксировали к внутренней части бака. Отворачивали усики предохранительной скобы, устанавливали на ней шнур для извлечения предохранительной скобы и срабатывания детонационной части СГ, состоящей из порошкового магния и перхлората калия. Находясь в безопасном месте, на расстоянии 2 м от оцинкованного бака тянули за шнур для извлечения предохранительной скобы устройства, тем самым отпустив спусковой рычаг, приведший в действие запал, находящийся в корпусе.

После детонации проводили макроскопическую оценку поражения путем осмотра наружной поверхности области промежности: края множественных мелких ран были неровными, в связи с чем сопоставить края ран не представлялось возможным (дефект «минус-

ткань» по М.И. Райскому). После проведения наружного осмотра места поражения проводили рассечение мягких тканей таким образом, чтобы плоскость сечения была перпендикулярна поверхности кожи и проходила через центр области травмы. В ходе препарирования тканей, было уставлено, что множественные входные отверстия продолжались слепым раневым каналом глубиной около 1/3 толщи мышечно-фасциального слоя. Дефект мышечно-фасциального слоя отличался звездчатой формой и соответствовал размеру кожного дефекта. В множестве раневых каналах были обнаружены поражающие элементы, образовавшиеся при разлете поражающих элементов взрывного устройства и участок миометрия с осколочно-рваным дефектом стенки матки и отделением её от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки. Таким образом, использование СГ, выпускающих в качестве условно-поражающего элемента пластиковые шары диаметром 2 мм, выполняющих роль осколочных снарядов, содержащихся внутри корпуса СГ, условной мощностью до 0,5 грамм пороха, радиусом поражения осколками гранаты 15 метров, позволяет получить множественные мелко-осколочные ранения, формирующиеся в результате детонирования порохового заряда, состоящего из порошкового магния и перхлората калия детонационной части устройства, разлета поражающих элементов, рикошета части поражающих элементов о стенки оцинкованного бака, которые являются в данном случае травмирующими агентами.

Проведенная в дальнейшем морфологическая оценка позволила установить, что края разрыва неровные, с признаками размозженности и кровоизлияния. В окружающей ткани выраженное острое воспаление с большим количеством палочкоядерных лейкоцитов с наблюдающимися очагами коагуляционного некроза (рис. 2).

Кроме того, было установлено, что МОНТ, полученные с использованием разработанного способа, у всех подопытных животных были идентичны по характеру и степени тяжести повреждений мягких тканей, их локализации, форме, площади и глубине. У каждого лабораторного животного произошел полный разрыв стенок матки с отделением ее от связок и от апоневроза

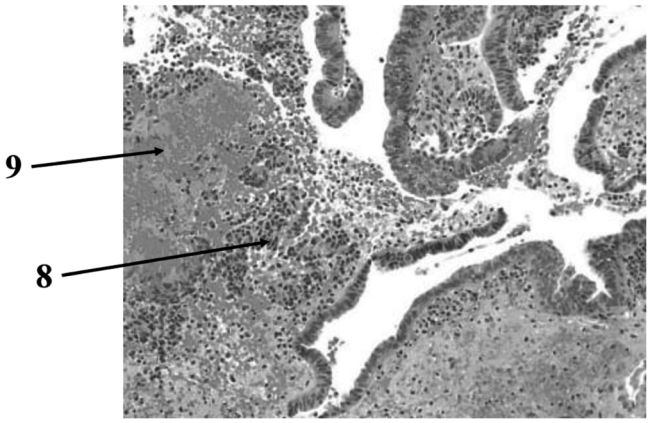


Рис. 2. Результаты микроскопического исследования области таза лабораторных животных

Примечание: Позициями на рисунке обозначены: 8 — палочкоядерные лейкоциты; 9 — очаги коагуляционного некроза.

Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки.

Характеристики полученной МОНТ у каждого лабораторного животного, в том числе размеры раны кожи и подкожно-жировой клетчатки (ПЖК), размеры мышечных ран и фасций, глубина ран, были фиксированы, а их средние значения в группе (M) и стандартные отклонения (m) представлены в таблице 1.

Заключение

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают, что разработанный способ позволяет получать у мелких лабораторных животных (крыс) МОНТ мягких тканей, в виде неровных, с мелкими надрывами ран кожи, подкожно-жировой клетчатки, фасций и мышц с повреждениями органов малого таза, в виде полного разрыва стенок матки с отделением ее от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки, т.е. идентичных по характеру и степени тяжести, локализации, форме, площади и глубине у всех экспериментальных животных, что весьма актуально в настоящее время и определяет перспективы его широкого использования в исследовательских целях [7].

Таблица 1.

Размеров площади ран у лабораторных животных, полученных в результате моделирования МОНТ (M±m)

Номер животного	Характеристика взрывной травмы области промежности				
	Размеры ран кожи и подкожно-жировой клетчатки	Площадь раны, см2	Размеры мышечных ран и фасций	Площадь раны, см2	Глубина ран, см
1	5,0±0,5	6,2±0,5	0,8±0,5	6,2±0,5	1,9±0,5
2	4,8±0,5	5,8±0,5	1,1±0,5	5,9±0,5	1,8±0,5
3	4,9±0,5	5,9±0,5	1,2±0,5	6,1±0,5	1,7±0,5
4	5,2±0,5	6,1±0,5	1,3±0,5	6,0±0,5	2,0±0,5
5	4,8±0,5	6,0±0,5	1,3±0,5	5,8±0,5	1,8±0,5
6	4,7±0,5	5,8±0,5	1,0±0,5	5,9±0,5	1,9±0,5
7	4,9±0,5	5,9±0,5	0,9±0,5	5,9±0,5	1,9±0,5
8	4,8±0,5	6,0±0,5	0,8±0,5	6,1±0,5	1,8±0,5
9	5,0±0,5	6,2±0,5	1,1±0,5	6,0±0,5	1,9±0,5
10	5,1±0,5	5,8±0,5	1,2±0,5	5,8±0,5	1,8±0,5
11	5,0±0,5	5,9±0,5	1,3±0,5	5,9±0,5	1,7±0,5
12	4,8±0,5	6,1±0,5	1,3±0,5	6,2±0,5	2,0±0,5
13	4,9±0,5	6,0±0,5	1,0±0,5	5,9±0,5	1,8±0,5
14	5,2±0,5	5,8±0,5	0,8±0,5	6,1±0,5	1,9±0,5
15	4,8±0,5	5,9±0,5	1,2±0,5	6,0±0,5	1,8±0,5
16	4,7±0,5	6,0±0,5	0,8±0,5	6,2±0,5	1,9±0,5
17	4,9±0,5	5,9±0,5	1,1±0,5	5,9±0,5	1,8±0,5
18	4,8±0,5	6,1±0,5	1,2±0,5	6,1±0,5	1,7±0,5
19	5,0±0,5	6,0±0,5	1,1±0,5	6,0±0,5	2,0±0,5
20	5,1±0,5	5,8±0,5	1,3±0,5	5,8±0,5	1,8±0,5

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев И.А., Титов Р.В., Шперлинг И.А. и др., Особенности взрывной травмы при использовании отдельных видов средств индивидуальной бронезащиты. Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2015; 3 (51): 128–132.
2. Венгерович Н.Г., Шперлинг И.А., Юркевич Ю.В. и др., Морфологическая характеристика посттравматической регенерации скелетных мышц при экспериментальной взрывной травме. Бюллетень сибирской медицины. 2015; 14 (4): 17–24.
3. Mykhailusov R.N., Negoduiko V.V., Prikhodko Yu.V. Biological layer design of fire wounds of soft tissues. Eksperimentalna i klinichna meditsyna. 2016; 4: 144–147.
4. Чиж Н.А., Ковалев Г.А., Белочкина И.В., Михайлова И.П. Модель минно-взрывной травмы. Клиническая хирургия. 2019; 86 (1): 61–64.
5. Бабушкин В.А., Рыхлов А.С. Общая хирургия. Ветеринария. 2016; 71–80.
6. Патент РФ на изобретение № 2748384, МПК A61B5/00, опубл. 25.05.2021. Шперлинг И.А, Шперлинг Н.В., Шулепов А.В, Романов П.А., Крупин А.В., Заргарова Н.И., Шперлинг М.И., Юркевич Ю.В., Серебряков В.А., Арутюнян А.А. Способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости.
7. Заявка на патент РФ на изобретение № 2024138938 от 23.12.2024. Полиданов М.А., Капралов С.В., Кашихин А.А., Волков К.А., Петрунькин Р.П., Юанов А.А., Масляков В.В., Греков В.В., Сафронов Д.В., Амиров Э.В., Данилов А.Д., Пригородов М.В., Емельянова И.П., Щербакова Н.С. Способ моделирования минно-осколочно-направленного действия травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных.

© Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru); Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru);
Петрунькин Родион Павлович; Кашихин Андрей Андреевич; Волков Кирилл Андреевич; Масляков Владимир Владимирович (maslyakov@inbox.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.21

ИНФОРМИРОВАННОСТЬ РОДИТЕЛЕЙ ОБ ОПУХОЛЕВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЯХ У ДЕТЕЙ — ОДИН ИЗ ФАКТОРОВ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ И УСПЕШНОГО ЛЕЧЕНИЯ

PARENTS AWARENESS OF TUMOR DISEASES IN CHILDREN IS ONE OF THE FACTORS OF EARLY DIAGNOSIS AND SUCCESSFUL TREATMENT

G. Katsova

Summary. *Introduction*. In the last decade, the number of children suffering from cancer has been increasing annually both in the world and in Russia. One of the reasons for the late diagnosis is the late request for medical help from parents due to the lack of tumor alertness. *The aim of the study* is to examine parents; awareness of oncopathology in childhood. *Materials and methods*. The scientific literature and statistical collections on the prevalence of tumor diseases in children in Russia and the Orenburg region were studied. A survey of 40 parents whose children suffer from tumor diseases was conducted. *The results and their discussion*. The article presents the epidemiological situation of tumor diseases in Russia and the Orenburg region, as well as issues of oncological pathology in children. The information of parents about the possibility of developing tumor processes in childhood, the etiology of tumors, early clinical manifestations and care, provision of emergency pre-medical and palliative care to patients at home was studied. The frequency of painful symptoms in patients was revealed. The forms of educational medical activity among the population are considered. *Conclusion*. Increasing parents' knowledge of the possibility of childhood tumor diseases and initial clinical manifestations will contribute to an earlier diagnosis of this pathology.

Keywords: epidemiology, oncological diseases, children, medical education.

Кацова Галина Борисовна
кандидат медицинских наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет»
kazovagalina@yandex.ru

Аннотация. *Введение*. В последнее десятилетие, как в мире, так и в России ежегодно увеличивается количество детей, страдающих онкологическими заболеваниями. Одной из причин поздней постановки диагноза является несвоевременное обращение за медицинской помощью со стороны родителей из-за отсутствия опухолевой настороженности. *Цель исследования* — изучить осведомленность родителей о онкопатологии в детском возрасте. *Материалы и методы*. Изучалась научная литература и статистические сборники по распространенности опухолевых заболеваний у детей в России и Оренбургской области. Проведено анкетирование 40 родителей, чьи дети страдают опухолевыми заболеваниями. *Результаты и их обсуждение*. В статье дана эпидемиологическая ситуация по опухолевым заболеваниям в России и Оренбургской области, вопросы онкологической патологии у детей. Изучена информированность родителей о возможности развития опухолевых процессов в детском возрасте, этиологии опухолей, ранних клинических проявлениях и уходу, оказанию неотложной доврачебной и паллиативной помощи больным в домашних условиях. Выявлена частота встречаемости тягостных симптомов у больных. Рассмотрены формы образовательной медицинской деятельности среди населения. *Выводы*. Повышение уровня знаний родителей о возможности опухолевых заболеваний в детском возрасте и начальных клинических проявлениях будут способствовать более ранней диагностике данной патологии.

Ключевые слова: эпидемиология, онкологические заболевания, дети, медицинское просвещение.

Введение

Опухолевые заболевания по частоте распространения и причинам летальности уступают только патологии сердечно-сосудистой системы [1]. В настоящее время опухолевые заболевания перестают быть причиной летальных исходов только у взрослого населения. В мире растет количество детей, страдающих и умирающих от онкопатологии. [2]. Часто опухоли выявляются у детей несвоевременно, что ухудшает прогноз заболевания. Одной из причин поздней постановки диагноза является несвоевременное обращение за медицинской помощью со стороны родителей из-за отсутствия опухолевой настороженности в отношении детей.

Целью настоящего исследования явилось изучение уровня знаний родителей в вопросах онкологии детского возраста.

Материалы и методы

Нами была изучена ситуация по опухолевым заболеваниям в России и Оренбургской области по данным научной литературы и статистических отчетов. С целью изучения информированности родителей о возможности онкопатологии у детей, проведено интервьюирование 40 родителей, имеющих детей с онкологическими заболеваниями и 20 родителей, имеющих здоровых детей. Оригинальные анкеты были составлены сотрудниками

кафедру сестринского дела Оренбургского государственного медицинского университета.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время опухолевые заболевания значительно помолодели и приобретают эпидемический характер [1]. На заседании комитета Совета Федерации в 2023 году было отмечен рост количества детей, которые находятся на диспансерном учете с онкологическими заболеваниями. Объясняется это ростом впервые выявленных случаев онкологических заболеваний у детей и повышением доступности современного лечения и восстановления после выхода в ремиссию [2]. Ежегодно впервые выявляется около 175 новых случаев злокачественных опухолей среди детского населения. Наиболее часто регистрируются лейкозы (примерно 3.2–4.4 на 100000 детского населения). Выздоровления удается достигнуть у 80 % больных. Несмотря на развитие науки и внедрение новых схем оказания помощи этой группе больных, результаты лечения не всегда утешительны. Часть пациентов не могут быть излечены полностью и нуждаются в паллиативной помощи, а часть погибают. Причинами случаев смертности от злокачественных опухолей у детей являются отсутствие диагноза, ошибочный диагноз или поздняя диагностика, препятствия на пути к медицинской помощи, прерывание лечения, смерть в результате интоксикации и рецидивы заболевания, отсутствие онкологической настороженности [4, 5].

Увеличение онкологических заболеваний у детей отмечается и в Оренбургской области. Среди причин можно отметить ухудшение экологической ситуации в области, отсутствие приверженности правилам ЗОЖ, большое количество предопухолевых заболеваний, более эффективную диагностику опухолей и прочее. Сегодня технологии позволяют рано ставить диагноз и начинать лечение. Оренбургская область занимает 30 место в России и 6 место в Приволжском федеральном округе по уровню заболеваемости опухолями. Показатель заболеваемости злокачественными новообразованиями в 2022 году в Оренбургской области составил 473,1 случая на 100 тыс. населения. Несмотря на некоторое снижение показателя заболеваемости злокачественными новообразованиями в 2020 году, наблюдается его рост (12,33 %) на протяжении 10 лет (2012–2022 годы). В 2022 году выявлено 9105 новых случаев злокачественных новообразований. На 1 января 2023 года в Оренбургской области на учете со злокачественными новообразованиями состояли 60379 пациентов (3,1 % населения области), из них с момента установления диагноза 5 лет и более — 34937 (57,7 %) [6, 7]. Убыль контингента больных со злокачественными новообразованиями за 2022 год составил 4,3 %. Это связано со снятием с учета больных, выездом пациентов из региона и по причине смерти. Выявленные в 2023 году опухолевые заболевания по стадиям распределились следующим образом: I стадия — 37,4 %; II стадия — 21,3 %; III стадия — 21,0 %; IV стадия — 17,2 % (рис. 1).

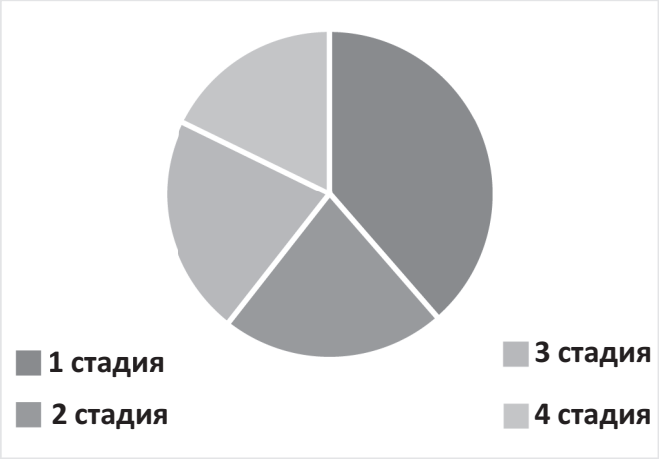


Рис. 1. Распределение выявленных опухолевых заболеваний по стадиям

В Оренбургской области, наряду с Ямало-Ненецким автономным округом, Республиками Тыва, Хакасия, Карелия, Мурманской, Рязанской и Тульской областями, онкологическая заболеваемость детей ниже в сравнении со средней по России. Здесь злокачественными новообразованиями страдает менее 10 детей на 100 тысяч детского населения. На диспансерном учете по онкозаболеванию в регионе находятся 374 ребенка. Самому маленькому пациенту с этим диагнозом — всего 8 месяцев. Не секрет, что диагностика опухолевого заболевания у детей сложнее, чем у взрослых пациентов. Это связано с быстро прогрессирующим характером заболевания, внезапным проявлением болезни, множеством клинических масок. Все это приводит к позднему началу лечения и, следовательно, худшему прогнозу. В 2023 году в регионе от рака умерли 8 детей. Тревожным показателем является то, что ни у одного ребенка диагноз не был заподозрен или поставлен на стадии диспансеризации, что требует особого внимания от врачей первичного звена. Необходимо помнить, что детский возраст не является препятствием для развития опухоли.

Главным условием благополучного течения болезни является ранняя диагностики и начало лечения опухолевого процесса. У 65 % детей с онкозаболеваниями в результате проведенной терапии удалось добиться стойкой ремиссии или стабилизации процесса, 12 процентов пациентов излечены полностью. Причинами поздней диагностики, наряду с объективные трудности в постановке диагноза (отсутствие специфических симптомов, наличие клинических «масок»), считаются недостаточная онкологическая настороженность у медицинских работников (65 %) и низкая медицинская грамотность родителей (17 %) [6]. Родители часто считают, что дети не могут иметь опухолевое заболевание, не знают их проявлений, а при заболевании ребенка получают

информацию о течении болезни и уходе за больным из непроверенных или некомпетентных источников. Даже после установления диагноза в 2024 году, как и в предыдущих наших исследованиях, свои знания о заболевании ребенка 10 % получают из социальных сетей, 14 % — от средних медицинских работников и 26 % от родственников и знакомых и только 50 % от врачей, поставивших диагноз (рис. 2).

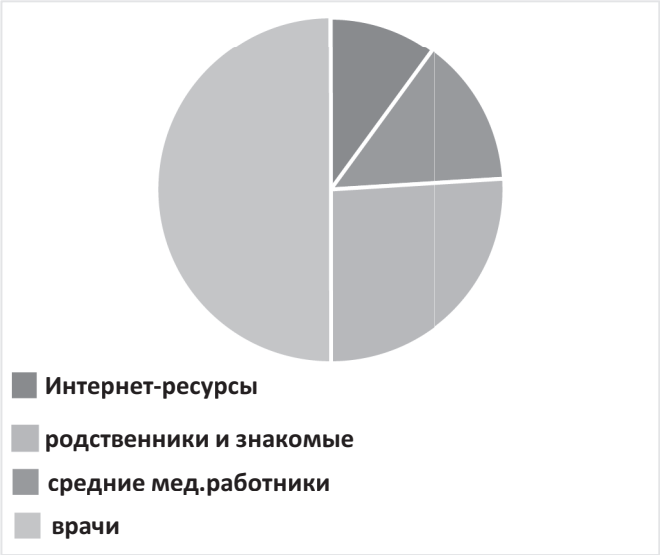


Рис. 2. Источники знаний родителей об опухолях

При анкетировании, проведенном нами в 2016 году свои знания о природе опухолевых заболеваний 95 % родителей, оценили на 5 баллов по предложенной 10- бальной шкале, 5 % — на 10 баллов. К сожалению, за 8 лет ситуация практически не изменилась. Родители, принимающие участие в анкетировании в 2024 году в 89 % не смогли ответить на вопрос о ранних клинических симптомах опухолей у детей, не владели приемами ухода за больным ребенком. После сообщения родителям о смертельном диагнозе, больной выписывается домой, где его окружают родные, не имеющие достаточных знаний и умений по его выхаживанию [7, 8, 9].

В Оренбургской области отсутствуют детские хосписы. Дети на паллиативном этапе лечения после выписки из стационаров возвращаются домой. В связи с этим при анкетировании нас интересовал уровень знаний родителей о наиболее опасных симптомах, которые потребуют оказания неотложной помощи в домашних условиях. А также владеют ли они навыками оказания неотложной доврачебной помощи в экстренных ситуациях.

Родители отметили следующие симптомы, которые могут потребовать неотложной помощи: со стороны желудочно-кишечного тракта (боль в животе — 17 %, тошнота — 17 %, рвота — 15 %, отсутствие аппетита — 9 %), кровотечения (12 %), головную боль и инфекционные осложнения (по 11 % соответственно), лихорадку — 9 %, бессонницу — 5 % респондентов (рис. 3) [10, 11].

Зная о симптомах, требующих неотложной помощи, не все родители смогли бы помочь ребенку: 7 % родителей могут оказать неотложную доврачебную помощь при болях в животе и бессонице, 5 % — при кровотечениях, 9 % при отказе ребенка от еды, 8 % при тошноте и 7 % при рвоте. Повышение температуры и головная боль были более знакомы родителям. В этих случаях 100 % и 96 % родителей соответственно считают, что смогут справиться самостоятельно. (рис. 4) [11].

В 96 % случаев родитель считают, что при необходимости они смогут ввести лекарственное средство внутримышечно.

В онкогематологии часто используют как сопутствующее лечение элементы фитотерапии. При проведении анкетирования выяснилось, что родители не знакомы

Рис. 3. Симптомы, требующие неотложной помощи

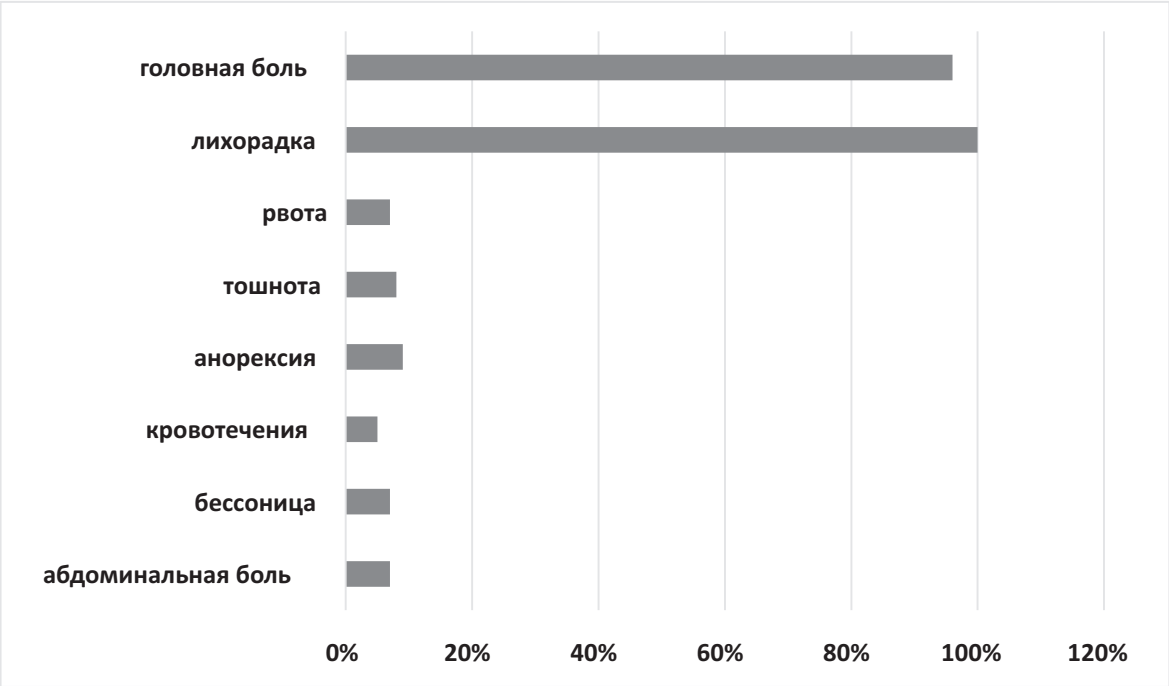


Рис. 4. Способность родителей оказать помощь в домашних условиях

с принципами применения фитотерапии при опухолях, а 16 % из них считают, что информацию об этом они могут получить у различного рода целителей, а не у специалистов.

В связи с полученными нами данными становится понятной актуальность обучения родных и близких онкобольных детей, а также родителей, имеющих здоровых детей теоретическим знаниям по детской онкологии и элементам медицинской и социально-психологической помощи детям, страдающим онкологическими заболеваниями [12, 13].

Для получения информации о причинах, клинических проявлениях и медицинской помощи при опухолевых заболеваниях в детском возрасте можно использовать различные источники. Большое значение в этом придается Центрам здоровья. За последние десять лет открыто восемь Центров здоровья, два из которых — детские (г. Оренбург, г. Бузулук). В Центрах проводится большая работа по профилактике опухолевых заболеваний и повышению уровня знаний населения по вопросам детской онкологии. Свой вклад в ликвидацию проблемы вносят и Школы здоровья при профилактических отделениях детских поликлиник [15, 16].

Основными задачами медицинских работников, проводящих занятия в Школах здоровья являются не только повышение уровня знаний родителей о факторах риска, ранних клинических проявлениях и методах лечения онкологических заболеваний у детей, знакомство слушателей с побочными действиями и осложнениями противоопухолевой терапии, но и обучение практическим навыкам ухода и оказанию неотложной доврачебной и паллиативной помощи детям с онкологической патологией в домашних условиях.

Занятия в Школах здоровья проводят как врачи, так и опытные медицинские сестры и бакалавры сестринского дела.

Для повышения эффективности обучения в ходе занятий осуществляется проверка исходных и заключительных знаний обучающихся с помощью вопросов по темам занятий и решения тестовых заданий. Программа занятий должна включать не только лекционные занятия, но и практические для усвоения обучающимися методов ухода за больными. Положительно может сказаться и привлечение к обучению в Школе не только родственников, но и больных детей, особенно подросткового возраста. Занятия могут проводиться совместно или отдельно от родителей.

Выводы

Таким образом, на основании проведенного исследования можно говорить о недостаточной настороженности родителей по вопросам детской онкологии. Даже имея ребенка с онкологическим заболеванием, родители не всегда могут обеспечить ему надлежащий уход и оказать неотложную помощь в экстренных ситуациях. Низкая грамотность родителей в вопросах детской онкологии негативно сказывается на ранней своевременной диагностике и лечении опухолевых заболеваний у детей. Одной из форм ликвидации этой проблемы может стать внедрение обучающих программ по детской онкологии в работу Центров здоровья и Школ здоровья в профилактических отделениях детских поликлиник.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волкова А.Р., Вахитов Х.М., Кумирова Э.В. Детские злокачественные новообразования и их учет: мировые и отечественные тенденции. //Российский журнал Детской гематологии и онкологии. — 2020. — №3. — с. 64–69. DOI: 10.21682/2311-1267-2020-7-3-64-69
2. Рыков М.Ю., Минкевич Г.Л. Детская онкология. // Рыков М. Ю. — Москва. — ГЭОТАР-Медиа. — 2022. — 432 с.
3. Румянцев А.Г. Детская онкогематология: результаты работы с 2020 года. //Фонд «Вместе против рака». — 2024.
4. Морозов С.П. Основы менеджмента медицинской визуализации // Морозов С. П. [и др.] — Москва. — ГЭОТАР-Медиа — 2020. — 432 с. ISBN 978-5-9704-5247-9
5. Ердомаева Я.А., Киргизов К.И., Коган С.А., Сагоян Г.Б. Ранняя диагностика в детской онкологии/гематологии //Педиатрия. — 2023. — том 102. — № 3 с. 98–103. DOI: 10.24110/0031-403X-2023-102-3-107-114
6. Борщук Е.Л., Бегун Д.Н., Климушкин А.В., Сидорова И.Т. Смертность от злокачественных новообразований в Оренбургской области. //Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. — 2021. — № 3. — с. 252–264. DOI: 10.24412/2312–2935–2021–3–252–264
7. Климушкин А.В., Борщук Е.Л., Бегун Д.Н. и др. Прогноз заболеваемости злокачественными новообразованиями в Оренбургской области. //Современные проблемы науки и образования. — 2021. — № 2. — с.116 — 118. DOI: https://doi.org/10.17513/spno.30582
8. Титова Ю.А. Психологическое здоровье и качество жизни пациентов, перенесших в детском возрасте онкологическое заболевание (Обзор зарубежной литературы) //Медико-фармацевтический журнал «Пульс» — 2021. — т.23 — № 11 — с.69–79. DOI:10.26787/nudha–2686–6838–2021–23–11–69–79
9. Гусева М.А., Цейтлин Г.Я., Антонов А.И. Социодемографические исследования в детской онкологии. //Онкопедиатрия, 2015. том 2. № 3. с. 262
10. Леднева Н.О. Книга в помощь: пособие по лечению детского лейкоза и других онкологических заболеваний в помощь мамам и папам, бабушкам и дедушкам, друзьям, родственникам и другим добрым людям // Н. Леднева, К. Кондратчик, Е. Руднева, М. Козловская, М. Гусева, А. Сафиуллина, Е. Швеммер, Л. Аверьянова, Ж. Алтунян, М. Бялик, Е. Папушина, О. Васильева. — 2-е изд. — Москва. — 2014. — 156 с.
11. Кацова Г.Б., Павленко Т.Н., Малеева Н.П. Некоторые аспекты образования родственников детей с онкологической патологией по уходу и оказанию неотложной доврачебной и паллиативной помощи // Медсестра. — 2016. — №7 — с.73–75.
12. Ердомаева С.А., Киргизов К.И., Коган С.А., Сагоян Г.Б. Ранняя диагностика в детской онкологии/гематологии. //Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. — 2023. — том 102. — № 3. — с.107–114. — DOI: 10.24110/0031–403X–2023–102–3–107–114.
13. Желудкова О.Г, Поляков В.Г., Сусулева Н.А., Турабов И.А. Клинические проявления онкологических заболеваний у детей: практические рекомендации // под. Редакцией В.Г. Полякова, М.Ю. Рыкова — СИб: Типография Михаила Фурсова. — 2018. — 52 с
14. Нечаева М., Бурыкин П. Особенности паллиативной помощи на дому детям с онкологическими заболеваниями //Рекомендации команде специалистов по паллиативной помощи. — 2020.
15. Грибкова И.Г., Степанова В.Н., Завьялов А.А. Психологическая реабилитация в детской онкологии. //Вопросы гематологии/онкологии и иммунопатологии в педиатрии. — 2020 — том 19. — № 3 — с. 151–157. https://doi.org/10.24287/1726-1708-2020-19-3-151-157
16. Воробьева Л.А., Сафонова С.А. Санаторий «Солнечное»: возможности реабилитации детей со злокачественными новообразованиями. //Онкология. — 2015. — том 2. — № 3. с. 250.

© Кацова Галина Борисовна (kazovagalina@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.24

ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ЛАТЕРАЛЬНОГО ЭПИКОНДИЛИТА: КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

LONG-TERM CONSEQUENCES OF SURGICAL TREATMENT OF CHRONIC LATERAL EPICONDYLITIS: CLINICAL OBSERVATION

P. Krainukov
A. Evtushenko
V. Kokorin
N. Goncharov

Summary. The article presents a long-term result of surgical treatment of a patient with epicondylitis. The issues of the clinic, diagnosis, choice of treatment tactics for this pathology, and the positive aspects of the use of regenerative therapy are considered. The analysis of the obtained results was carried out and the terms of the patient's rehabilitation were determined.

The peculiarity of the presented clinical case lies in a long-term treatment that does not respond to treatment, a systematically recurrent chronic process that is immune to conservative and surgical treatment.

Surgical treatment — revision, excision of foci of chronic inflammation, reinsertion of tendons, tunneling of the lateral epicardium — did not give the expected effect, did not lead to relief of the process. The postoperative period was accompanied by relapses of pain syndrome, contracture of the elbow joint, impaired function of the upper limb, and a persistent decrease in physical activity, which forced the patient to change his habitual lifestyle and professional activities.

The ineffectiveness of the treatment methods used forced us to pay attention to the problem of enthesopathies in general, summarize modern approaches to treatment and focus on the use of cellular engineering technologies in the treatment of this pathology.

The orthobiological approach we developed in the treatment of periarticular tissue pathology, using multipotent mesenchymal stem cells, allowed us to obtain a stable anti-inflammatory and regenerative effect, relieve pain, shorten rehabilitation time, restore the quality and lifestyle of the patient, and return him to his usual professional activity.

Keywords: enthesis, enthesopathy, lateral epicondylitis, regenerative therapy, orthobiology, periarticular tissue, rehabilitation.

Крайнюков Павел Евгеньевич
ФКУ «Центральный военный клинический госпиталь им. П.В. Мандрыка», г. Москва;
ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва
Евтушенко Артем Андреевич
ФКУ «Центральный военный клинический госпиталь им. П.В. Мандрыка», г. Москва
Кокорин Виктор Викторович
ФКУ «Центральный военный клинический госпиталь им. П.В. Мандрыка», г. Москва;
ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр имени Н.И. Пирогова» г. Москва
kokorinvv@yandex.ru
Гончаров Николай Александрович
ФКУ «Центральный военный клинический госпиталь им. П.В. Мандрыка», г. Москва

Аннотация. В статье представлен отдаленный результат хирургического лечения пациента с эпикондилитом. Рассмотрены вопросы клиники, диагностики, выбора тактики лечения указанной патологии, положительные стороны применения регенеративной терапии. Проведен анализ полученных результатов и определены сроки реабилитации пациента.

Особенность представленного клинического случая заключается в долго неподдающемуся лечению, систематически рецидивирующему хроническому процессу, невосприимчивому к консервативному и оперативному лечению. Хирургическое лечение — ревизия, иссечение очагов хронического воспаления, реинсерция сухожилий, тунелизация латерального надмышелка — не дало ожидаемого эффекта, не привело к купированию процесса. Послеоперационный период сопровождался рецидивами болевого синдрома, контрактурой локтевого сустава, нарушением функции верхней конечности, стойкому снижению физической активности, что вынудило пациента изменить привычный образ жизни и профессиональную деятельность.

Неэффективность использованных методов лечения заставило нас обратить внимание на проблему энтезопатий в целом, обобщить современные подходы в лечении и акцентировать внимание на применении клеточно-инженерных технологий в лечении данной патологии.

Выработанный нами ортобиологический подход в лечении патологии периартикулярных тканей, с применением мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток, позволил получить стойкий противовоспалительный и регенераторный эффект, купировать болевой синдром, сократить сроки реабилитации, восстановить качество и образ жизни пациента, вернуть его к привычному виду профессиональной деятельности.

Ключевые слова: энтез, энтезопатия, латеральный эпикондилит, регенеративная терапия, ортобиология, периартикулярная ткань, реабилитация.

Введение

Латеральный (наружный) эпикондилит — одна из наиболее частых форм патологии периартикулярных тканей, в общей популяции частота встречаемости составляет от 1 до 3 %, среди работающего населения в возрасте 30–60 лет, до 11 % соответственно. На этапе первичной медико-санитарной помощи Министерства здравоохранения Российской Федерации частота первичных обращений по поводу поражение периартикулярных тканей локтевого сустава составляет 15,3 %, из них 59,8 % — составляют первичные обращения по поводу латерального эпикондилита.

В основе патогенеза заболевания лежит дегенеративно-дистрофический процесс, истинная этиология которого, на сегодняшний день, не совсем ясна, в связи с большим многообразием слабовыраженных и скрытых форм течения болезни, при которых пациенты не обращаются за медицинской помощью, или обращаются к непрофильным врачам-специалистам [1–6].

Латеральный эпикондилит относят к «травмам чрезмерного использования», повреждения возникают в результате повторяющихся хронических нагрузок на сухожилие в месте его прикрепления к кости –анатомическая структура известная как физиологический переходный комплекс тканей (фасциальная, сухожильная, фиброзная, костная) — латеральный надмыщелковый энтезис.

Согласно механической теории возникновения латерального эпикондилита повреждение происходит в связи с чрезмерной/нефизиологической нагрузкой на мышцы предплечья и плеча и их сухожильные части, что создает перегрузку локомоторного аппарата локтевого сустава, в результате чего в структуре энтезиса возникают повреждения, что в свою очередь ведет к появлению болевого синдрома, в проекции латерального надмыщелка плечевой кости.

С конца XX столетия Британской исполнительной группой по соглашениям в области здоровья и безопасности предложены диагностические критерии и основные направления лечения патологии: мероприятия режимного характера (ортопедический режим, иммобилизация конечности и т.п.), применение физиотерапевтических методов лечения (ультразвуковая терапия, магнитотерапия, тепловые процедуры), медикаментозная терапия, включающая применение нестероидных противовоспалительных препаратов и локальное введение кортикостероидов. Данной тактики лечения по настоящее время придерживаются многие лечебные учреждения здравоохранения Российской Федерации. Такая тактика лечения эпикондилитов приобрела название «выжидательной» («wait-and-see») [7]

В начале XXI столетия голландскими исследователями (Korthals-de Box I. B. et. al., 2004) проведен фармакоэкономический анализ стоимости лечения эпикондилитов на основе «выжидательной» тактики, результаты которого показали экономическую неэффективность данного метода лечения эпикондилитов. Сроки лечения эпикондилитов данным методом оказывались слишком большими — 80 % излечений происходит в течение года, многие симптомы могут сохраняться до 2-х лет. Кратковременный эффект кортикостероидов длится не более 6 недель с последующим ухудшением долгосрочных исходов [8].

Неэффективность консервативного и хирургического лечения привело к необходимости изучения современных подходов к лечению энтезопатий, и обратить свое внимание на применение клеточных инженерных технологий репаративной медицины. Перспективным направлением ортобиологии в этиопатогенетической терапии патологии периартикулярных тканей считается применение мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток, что дает возможность получить стойкий противовоспалительный и регенераторный эффект для структур и функции этих тканей [9, 10].

Клиническое наблюдение

Пациент Ч., 53 лет, поступил в плановом порядке для обследования и стационарного лечения. При поступлении предъявлял жалобы на боль в области левого локтевого сустава, провоцируемую физической нагрузкой.

При тщательном сборе анамнеза установлено, что пациент в течение многих лет страдает энтезопатией латерального надмыщелка, боли, локализующиеся в проекции наружного надмыщелка плечевой кости, беспокоят более 10 лет. Впервые жалобы возникли в ноябре 2007 г. после интенсивных занятий спортом. Курс консервативной терапии, включающий нестероидные противовоспалительные средства и блокады в область апофиза плечевой кости, препаратами группы глюкокоритикостероидов (бетаметазон), не принесли положительного эффекта. Периодически в течение года после физической нагрузки, возникала резкая боль в левом локтевом суставе, ограничивающая функцию левой верхней конечности на длительный период.

Через 4 года от начала заболевания и неэффективности консервативного лечения выполнено хирургическое вмешательство — краевая резекция, тунелизация латерального надмыщелка левой плечевой кости с мозаичной фасциомиотомией апоневроза разгибательной группы мышц. Пациент выписан из стационара с улучшением и вернулся к прежней трудовой и социально-бытовой деятельности. Однако спустя пять лет, после возобновления физических нагрузок, связанных с про-

фессиональной деятельностью, болевой синдром возник вновь.

В декабре 2023 года пациент госпитализирован в стационар для обследования и лечения.

Жалобы на боль и ограничение движения в левом локтевом суставе при физической нагрузке.

Согласно разработанного протокола, тщательно собраны жалобы, анамнез заболевания, проведено клинико-мануальное обследование, выполнен необходимый объем исследований: общеклиническое, биохимическое исследование крови, ультразвуковое исследование мягких тканей и локтевого сустава, компьютерная томография.

В результате комплексного исследования подтвержден диагноз хронического латерального эпикондилита, рецидивирующее течение, выраженный болевой син-

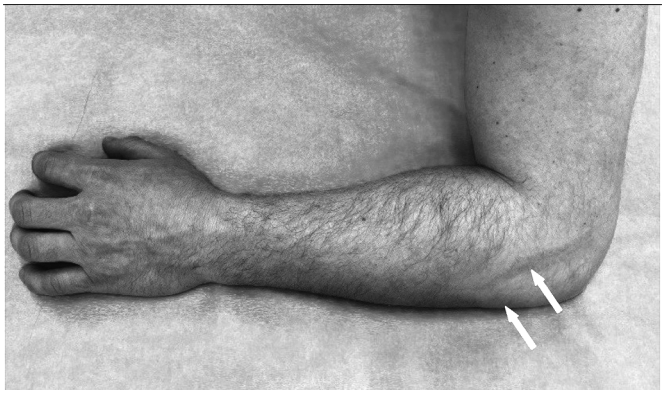
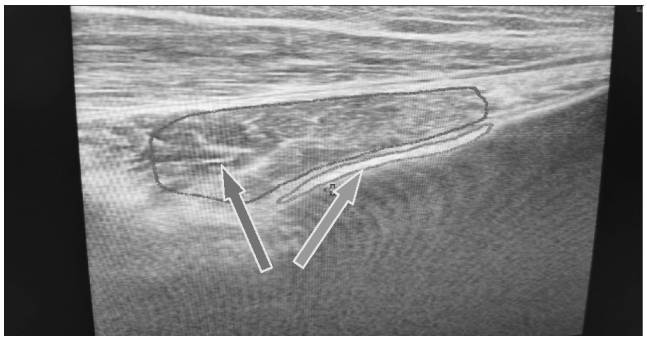
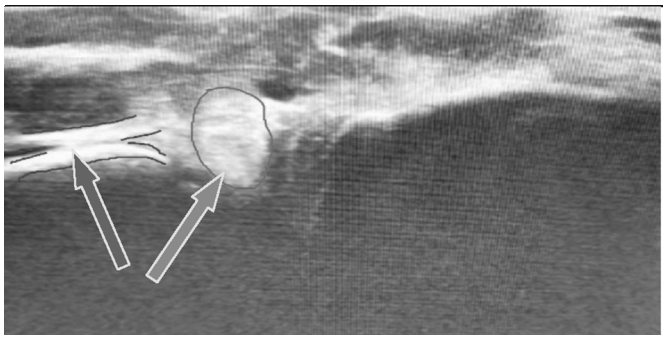


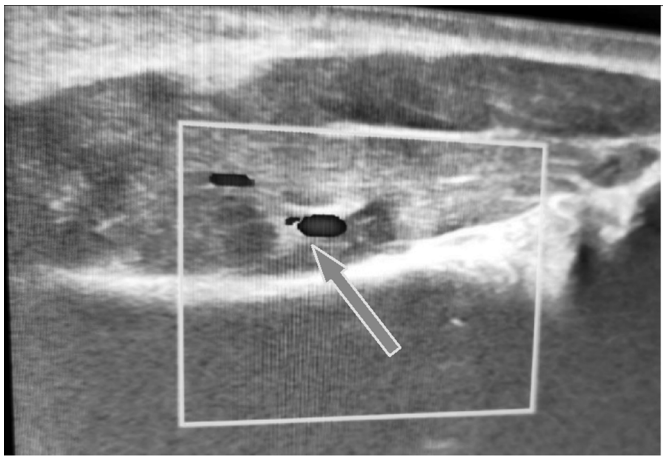
Рис. 1. Левый локтевой сустав. Указана точка максимальной болезненности в области наружного надмыщелка. Отчетливо виден состоятельный послеоперационный рубец. Стрелками указаны костные ориентиры — локтевой отросток, латеральный надмыщелок



А



Б



В

Рис. 2. Продольное сканирование, область латерального надмыщелка плечевой кости.

А. Неоднородность мышцы разгибателя за счет разрастания фиброзной ткани (выделено темно-серым). Утолщение и рубцовая деформация апоневроза разгибателя пальцев кисти (выделено светло-серым). Б. Утолщение сухожилия общего разгибателя пальцев. Утолщение стенки и размытость краев сухожилия влагалища общего разгибателя пальцев (выделено красным). Зона прикрепления общего разгибателя (выделено голубым), определяется отек и увеличение площади прикрепления. В. Режим цветового доплеровского картирования, продольное сканирование. Артериальный кровоток по ходу сухожилия мышц разгибателей. Усиленный кровоток в месте прикрепления сухожилия общего разгибателя (указан светло-серой стрелкой)

дром; краевая резекция, тунелизация латерального надмыщелка левой плечевой кости, фасциомиотомия апоневроза группы мышц разгибателей (от 2017 г.).

Локальный статус на момент обращения: Кожные покровы левого локтевого сустава чистые, физиологической окраски, конфигурация сустава не изменена, симметрична противоположному. По латеральной поверхности левого локтевого сустава — состоятельный дугообразный послеоперационный рубец телесного цвета, размерами 7х0,2 см, не спаянный с окружающими тканями, смещаемый, безболезненный. При мануальном тестировании (пальпация, сгибание, разгибание, ротация) отмечается резкая болезненность в области латерального надмыщелка, верхней трети предплечья по ладонной поверхности, а также при разгибании пальцев левой кисти. Пульсация магистральных артерий отчетливая. Нарушений чувствительности пальцев кисти не отмечается. Контуры локтевого сустава не изменены, отек и гиперемия отсутствуют. Активные и пассивные движения ограничены из-за болезненности. Стойкая локальная болезненность в области наружного надмыщелка плечевой кости (Рис. 1).

По результатам общеклинического и биохимического исследования крови, мочи — получены референсные значения.

По данным рентгенологического исследования острой костно-травматической патологии не выявлено, однако отмечаются признаки уплотнения надкостницы латерального надмыщелка, участки склерозирования, разряжения и затемнения.

Субклинические изменения, выявленные при ультразвуковом исследовании представлены на рис. 2.

Снижение эхогенности сухожилия мышц разгибателей, неоднородность мышцы разгибателя за счет разрастания фиброзной ткани, утолщение и рубцовая деформация апоневроза разгибателя пальцев кисти (рис. 2 А), утолщение, размытость краев, контуров, отек и увеличение площади прикрепления сухожилия влагалища общего разгибателя пальцев (рис. 2 Б). Усиление кровотока в месте прикрепления сухожилия общего разгибателя (рис. 2 В) [11].

Полученные данные компьютерной томографии показали уменьшение толщины кортикального слоя, наличие зоны остеопороза надмыщелка плечевой кости (Рис. 3).

Выработан комплексный подход в лечении пациента, по стандартизованной схеме с использованием технологии введения мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток, в проекцию структур поврежденного энтеза, совместно с антибактериальным препаратом цефазолинового ряда (Цефтриаксон). Разработанная методика, основана на принципе непосредственного введения в патологическую зону естественных регенераторных факторов, активизирующих и участвующих в восстановительных процессах организма, совместно с антибактериальными препаратами широкого спектра действия, непосредственно под УЗ-контролем.

Рис. 3. Аксиальная проекция. Стрелкой указаны уменьшение толщины кортикального слоя. Зона остеопороза латерального надмыщелка плечевой кости

В послеоперационном периоде пациенту проведено реабилитационное лечение латерального эпикондилита (патент на изобретение №2773101), что позволило сократить сроки лечения, улучшить трофику тканей, репарацию, купировать болевой синдром и воспалительные проявления.

Выводы

Применение регенераторной биотерапии позволяет достигать лечебного эффекта благодаря активации естественных резервов организма [12].

Несмотря на большое разнообразие имеющихся на сегодня технических средств, разнонаправленной медикаментозной поддержки, современных методов и способов диагностики, лечения и реабилитации, результаты лечения энтезопатий любой локализации требуют дальнейшего совершенствования.

Применение хирургических методов в лечении эпикондилита не исключает рецидива заболевания, а хронизация воспалительного процесса затягивает выздоровление на долгие годы.

Следует учитывать современные достижения науки в лечении энтезопатии. Перспективным в этом направлении является ауторегенерация тканей и потенцирование репаративных факторов, что позволяет ускорить процесс заживления и восстановления.

Заключение

Интерес к выбору оптимального подхода в лечении пациентов, страдающих энтезопатиями различной локализации, а также сокращение сроков их реабилитации, остается актуальной и значимой медико-социальной проблемой всего медицинского сообщества, которая затрагивает каждого жителя планеты в течении жизни, как минимум однократно, и отражается на снижение трудоспособности, и влияет на все сферы деятельности человека [13].

Отсутствие общепринятых стандартов лечения, запоздалая диагностика, длительный и упорный характер болезни, частая хронизация процесса, обусловливают неудовлетворительные исходы лечения, высокую частоту рецидивов, приводят к ухудшению качества жизни пациентов и потере трудоспособности работающего населения [1,14].

Фоном развития энтезопатий у одной группы лиц является профессиональная деятельность (спортсмены, военнослужащие), так называемый механический фактор, у других групп, исследования подтверждают такие причины как инфекционный, аутоиммунный агент, стрессовый фактор. В литературе так же встречаются редкие случаи возникновения патологического процесса на фоне полного благополучия, при этом этиологический агент так и не удается установить.

Все это свидетельствует об актуальности рассмотренной проблемы, требует дальнейшего системного научного подхода в разработке лечебно-диагностических мероприятий позволяющих радикально подойти к лечению патологии энтезопатий любой локализации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shiri R. Prevalence and Determinants of Lateral and Medial Epicondylitis: A Population Study / R. Shiri, E. Viikari-Juntura, H. Varonen, M. Heliovaara // American Journal of Epidemiology. — 2006. — Vol.164, № 11. — P. 1065–1074.
2. Кирсанов В.А., Бордуков Г.Г., Половинко В.В. Анализ эффективности плазмотерапии при лечении энтезопатий верхней конечности. В кн.: Технологические инновации в травматологии, ортопедии и нейрохирургии: интеграция науки и практики. — Саратов: Амирит, 2019. — С. 116–119.
3. Dennis M.G., Kay-Geert A.H., Ai L.T. Differentiation between osteoarthritis and psoriatic arthritis: implications for pathogenesis and treatment in the biologic therapy era. Rheumatology. 2015; 54(1): 29–38.
4. Gleb S., Itzhak R. Enthesis as a target organ in rheumatic diseases: an expanding frontier. Clinical Rheumatology. 2017; Vol.36(10):2163–2165.
5. Каратеев А.Е., Лила А.М., Загородний Н.В., Погожева Е.Ю. Поражение околосуставных мягких тканей в реальной клинической практике: частота, характер, эффективность нестероидных противовоспалительных препаратов. Терапевтический архив. 2019; 91 (12): 21–28. DOI: 10.26442/00403660.2019.12.000377
6. Шавловская О.А., Гордеева И.Е., Ансаров Х.Ш., Прокофьева Ю.С. Хронический болевой синдром при заболеваниях периартикулярных тканей. // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020;120(3):109–118. https://doi.org/10.17116/jnevro2020120031109
7. Кириллова Э.Р., Хабиров Р.А., Шнайдер Л.Л., Ананичева Г.В. Подходы к патогенетической терапии эпикондилитов локтевого сустава // Практическая медицина. — 2013. — № 1(66). — С. 109–112. — EDN PYQEGT.
8. Coombes B.K., Connelly L., Bisset L., Vicenzino B. Economic evaluation favours physiotherapy but not corticosteroid injection as a first-line intervention for chronic lateral epicondylalgia: evidence from a randomised clinical trial. Br J Sports Med. 2016 Nov; 50(22):1400–1405. doi: 10.1136/bjsports-2015-094729. Epub 2015 Jun 2. PMID: 26036675.
9. Теплов О.В., Соловьев В.В., Масгутов Р.Ф., Салихов Р.З., Чекунов М.А., Галимов Д.Х., Теплова Ю.С., Плаксейчук Ю.А. Применение обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP) в лечении латерального эпикондилита. Практическая медицина. 2018. Том 16, № 7 (часть 2), С. 86–89
10. Martin J.I., Merino J., Atilano L. et al. Platelet-rich plasma (PRP) in chronic epicondylitis: study protocol for a randomized controlled trial. Trials 14, 410 (2013). https://doi.org/10.1186/1745-6215-14-410
11. Arend C.F. Role of sonography and magnetic resonance imaging in detecting deltoideal acromial enthesopathy: an early finding in the diagnosis of spondyloarthritis and an under-recognized cause of posterior shoulder pain. Journal of ultrasound in medicine. 2014; 33(4):557–61.
12. Fang J., Wang X., Jiang W., Zhu Y., Hu Y., Zhao Y., Song X., Zhao J., Zhang W., Peng J., Wang Y. Platelet-Rich Plasma Therapy in the Treatment of Diseases Associated with Orthopedic Injuries. Tissue Eng Part B Rev. 2020 Dec;26(6):571–585. doi: 10.1089/ten.TEB.2019.0292. Epub 2020 Nov 3. PMID: 32380937.
13. Драпкина О.М., Самородская И.В., Болотова Е.В., Старинская М.А. Нозологическая структура потерянных лет потенциальной жизни в экономически активном возрасте в Российской Федерации в 2016 г // Профилактическая медицина. — 2019. — Т. 22. — № 1. — С. 22–28. — DOI 12.17116/profmed 20192201122. — EDN ZIMPGP
14. Крайнюков П.Е., Кокорин В.В., Чеснаков А.Н. [и др.] Перспектива применения клеточных технологий в лечении пациентов с энтезопатиями // Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова. — 2021. — Т. 16. — № 3. — С. 12–17. — DOI 10.25881/20728255_2021_16_3_12. — EDN KDIQAZ.

© Крайнюков Павел Евгеньевич; Евтушенко Артем Андреевич; Кокорин Виктор Викторович (kokorinvv@yandex.ru);
Гончаров Николай Александрович
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.25

ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ФУЛЬМИНАНТНЫМ КОЛИТОМ

MANAGEMENT FEATURES OF PATIENTS WITH FULMINANT COLITIS

G. Krotov
M. Danilov
O. Knyazev
V. Tsvirkun

Summary. The issues of diagnosis and timely treatment, including surgical intervention, of colitis of various etiologies are becoming increasingly relevant today. A wide range of nosological entities can be concealed behind the clinical presentation of acute colitis. Among all types of colitis, ulcerative colitis (UC), pseudomembranous colitis (PMC), and ischemic colitis (IC) have gained the greatest socio-economic significance in the post-COVID era. UC and PMC are diseases in which the inflammatory component plays a major role in disease progression, whereas IC is primarily driven by ischemic mechanisms. Before the development of severe and rapidly progressive (fulminant) complicated forms of colitis, a specific range of etiopathogenetic factors leads to significant differences in the clinical presentation of these conditions, necessitating a personalized approach to the application of various treatment algorithms. These approaches are well studied and described in international clinical guidelines. However, in severe and fulminant forms of UC, PMC, and IC, the inflammatory and ischemic components gradually become nearly identical. This convergence results in a similar clinical presentation of colitis in its terminal stages. Currently, no systematic comparative studies analyzing all three nosological entities exist.

Keywords: fulminant colitis, ulcerative colitis, pseudomembranous colitis, ischemic colitis, ineffectiveness of conservative therapy, risk factors for surgical intervention.

Кротов Глеб Александрович
ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ
krotovgleb@mail.ru
Данилов Михаил Александрович
Кандидат медицинских наук,
заведующий колопроктологическим отделением,
ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ
m.danilov@mknc.ru
Князев Олег Владимирович
Доктор медицинских наук, профессор,
заведующий отделением патологии кишечника,
ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ
oleg7@bk.ru
Цвиркун Виктор Викторович
Доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, ГБУЗ МКНЦ имени А.С. Логинова ДЗМ
v.zvirkun@mknc.ru

Аннотация. Вопросы диагностики и своевременного лечения, в том числе хирургического, колитов различной этиологии становятся всё более актуальными в настоящее время. Под клинической картиной острого колита скрывается широкий спектр нозологий. Среди всех колитов наибольшее социально-экономическое значение в постковидную эпоху приобрели язвенный (ЯК), псевдомембранозный (ПМК) и ишемический колиты (ИК). ЯК и ПМК — заболевания, в патогенезе прогрессии которых большое значение отводится воспалительному компоненту, тогда как ИК — ишемическому. До развития тяжелой и тяжелой быстропротекающей (фульминантной) осложненной формы колитов определенный спектр этиопатогенетических факторов обуславливает сильное различие в клинической картине между нозологиями и диктует необходимость персонифицированного подхода в применении различных лечебных алгоритмов, которые в настоящее время хорошо изучены и описаны в международных клинических рекомендациях. При тяжелой и фульминантной формах ЯК, ПМК и ИК воспалительный и ишемический компоненты постепенно приобретают тождественный характер. Этим обусловлена схожесть клинической картины колитов на терминальных стадиях своего развития. Исследований, проводящих системный сравнительный анализ всех трех нозологий, в настоящее время нет.

Ключевые слова: фульминантный колит, язвенный колит, псевдомембранозный колит, ишемический колит, неэффективность консервативной терапии, факторы риска хирургического вмешательства.

Введение

Вопросы диагностики и своевременного лечения, в том числе хирургического, колитов различной этиологии становятся всё более актуальными в настоящее время. Под клинической картиной острого колита скрывается широкий спектр нозологий, которые, в свою очередь, объединены в группы специфических и неспецифических колитов [1]. Среди всех колитов наибольшее социально-экономическое значение в странах Западной Европы и Северной Америки в постковидную эпоху приобрели язвенный (ЯК), псевдомембранозный (ПМК) и ишемический колиты (ИК) [2, 3, 4]. Болезнь Крона (БК) редко избирательно поражает толстую киш-

ку, но значительно чаще носит сегментарный характер и протекает в форме илеоколита. По этой причине, БК обычно не рассматривается в аспекте особенностей ведения пациентов с колитом тяжелого течения.

ЯК — это хроническое идиопатическое воспалительное заболевание толстой кишки, начинающееся в прямой кишке и в последующем поражающее проксимальные отделы толстой кишки, вплоть до тотального поражения [5].

ПМК — это острое воспалительное заболевание толстой кишки, характеризующееся токсин-индуцированным повреждением стенки толстой кишки с последующим формированием фиброзных наложений [6].

ИК — это деструктивно-воспалительное заболевание толстой кишки, возникающее вследствие повышения метаболических процессов в слизистой оболочке толстой кишки на фоне нарушения кровоснабжения определенного сегмента толстой кишки [4].

ЯК и ПМК — заболевания, в патогенезе прогрессии которых большое значение отводится воспалительному компоненту, тогда как ИК — ишемическому [1]. До развития тяжелой и тяжелой быстропротекающей (фульминантной) осложненной формы колитов определенный спектр этиопатогенетических факторов обуславливает сильное различие в клинической картине между нозологиями и диктует необходимость персонифицированного подхода в применении различных лечебных алгоритмов, которые в настоящее время хорошо изучены и описаны в международных клинических рекомендациях. При тяжелой и фульминантной формах ЯК, ПМК и ИК воспалительный и ишемический компоненты постепенно приобретают тождественный характер [1, 7]. Этим обусловлена схожесть клинической картины колитов на терминальных стадиях своего развития.

Патогенез и консервативное лечение фульминантного колита

Патогенез ЯК, ПМК и ИК подробно изложен в мировой литературе. Несмотря на это, процессы, лежащие в основе прогрессии колитов от тяжелой до фульминантной степени тяжести, в настоящее время остаются малоизученными. Несомненно, прогрессия ЯК, ПМК и ИК связана с процессами трансформации воспалительно-ишемических изменений стенки кишки в некротические. При ИК, в сравнении с ЯК и ПМК, вышеописанная трансформация занимает самый короткий промежуток времени [4, 8, 9].

Наиболее частым неблагоприятным исходом ишемического колита является гангренозный колит, тогда как развитие токсического мегаколона у пациентов с ишемическим колитом наблюдается редко [10]. Патогенез мегаколона связывают с высвобождением из некротизированных тканей медиаторов воспаления и оксида азота, приводящих к снижению мышечного тонуса толстой кишки и токсическому поражению нервных сплетений Мейснера и Ауэрбаха [6, 7].

Алгоритм проведения консервативной терапии ЯК, ИК и ПМК строго регламентирован в международных клинических рекомендациях. При всех трех нозологиях медикаментозное лечение построено на общих принципах, преследующих единую цель — не допустить прогрессию заболевания вплоть до развития фульминантной формы. Данная цель достигается за счет комплексного подхода, предусматривающего оценку степени тяжести заболевания, своевременное и адекватное определение показаний, дозировок и способов введения лекарственных препаратов, а также раннее «определение» состояния — неэффективности консервативной терапии [5, 7, 11].

Для прогнозирования неблагоприятного исхода колита рекомендована своевременная отмена препаратов, способствующих снижению перфузии стенки толстой кишки (иммуномодуляторы, вазоконстрикторы), профилактика колонизации толстой кишки Cl. difficile, коррекция водно-электролитных нарушений и нутритивного статуса, эрадикация цитомегаловируса и вируса Эпштейна-Барра и нормализация кишечной микробиоты [7]. В случае развития токсического мегаколона и категорического отказа пациентов от выполнения хирургического вмешательства выполняется гранулоцитарно-моноцитарный аферез и лейкаферез [5].

Поражение толстой кишки при ПМК и ИК при проведении своевременной и патогенетической терапии носит обратимый характер [6, 10], тогда как при ЯК — ремиттирующий [12].

Определение предикторов неэффективности консервативной терапии и показаний к операции

Использование комплексной медикаментозной терапии с соблюдением протоколов в период первичной госпитализации пациентов с тяжелым течением колита, в большинстве случаев, демонстрируют свою эффективность. В случае ЯК показатель эффективности в среднем достигает 60–70 % [3], при ПМК и ИК — 70 % [6] и 85 % [4], соответственно. Тем не менее, всегда сохраняется угроза трансформации тяжелого течения в фульминатную форму, при которой необходимость и риск хирургического вмешательства резко возрастают. Так при развитии первой сверхтяжелой атаки ЯК, риск выполнения колэктомии составляет 10–20 % [12], при тяжелом и тяжелом осложненном (фульминантном) течении ПМК — до 30 % [2], при ИК тяжелого течения — 9–20 % [10].

Данная проблема побудила международное научное сообщество определить некий «рубеж» неэффективности консервативной терапии, по достижении которого показано проведение мультидисциплинарного консилиума с целью определения дальнейшей тактики ведения пациентов. При тяжелом течении ПМК данный промежуток времени составляет от 48 до 72 часов [9]. Единого консенсуса в отношении ЯК и ИК нет.

Первоочередной проблемой, возникающей при мультидисциплинарном обсуждении пациентов, страдающих колитом тяжелого течения, является определение предикторов неэффективности консервативной терапии и оценка риска хирургии. Предикторы в большинстве случаев неспецифичны и являются лабораторными показателями, выходящими за рамки референсных значений. Исследовательских работ, посвященных совокупному анализу предикторов неблагоприятного прогноза при ЯК, ПМК и ИК, нет.

В международной литературе широко приведены прогностические шкалы, разработанные на основе комплексного анализа предикторов тяжелого течения, ЯК (табл. 1) и ПМК (табл. 2). Применение данных шкал в период пребывания пациентов в стационаре позволяет оценить тяжесть течения заболевания (прогностический индекс Seo [13], шкалы UPMC [14] и MN [2]) и риск развития летального исхода (шкала CARDS [15]), составить прогноз положительного ответа на консервативную терапию (прогностические шкалы Ho (Шотландский индекс) [16], ADMIT-ASC [17], ACE [11], ATLAS [18]) и решить вопрос о целесообразности хирургического вмешательства (прогностическая шкала Travis (Оксфордский критерий) [19], Шведский прогностический индекс [20], индекс святого Антония [12], шкала MGH [6]).

Прогностические шкалы и индексы в отношении ИК не получили широкого практического применения.

Tanaka M. и соавт. пришли к выводу, что значение сывороточного альбумина менее 24,5 г/л на момент госпитализации пациентов со сверхтяжелой атакой ЯК является независимым предиктором колэктомии [21].

В исследовании De Cristofaro E. учеными было продемонстрировано, что независимыми предикторами колэктомии у пациентов со сверхтяжелой атакой ЯК являются уровень сывороточного альбумина менее 30 г/л и дилатация толстой кишки более 5,5 см [3].

Mingazov A.F. и соавт. в своей работе пришли к выводу о том, что единственным достоверным и независимым предиктором колэктомии на момент госпитализации является уровень сывороточного альбумина менее 29 г/л [8].

В исследовании Ahmad O. и соавт. определены предикторы, служащие показаниями к выполнению хирургического вмешательства у пациентов с тяжелым течением ПМК: уровень сывороточного альбумина менее 20 г/л и сумма баллов более или равно 6 по прогностической шкале ATLAS [9].

Научные работы, в которых были определены значимые предикторы колэктомии у пациентов с тяжелым течением ИК еще до прогрессии заболевания в более тяжелую форму, в настоящее время отсутствуют.

Хирургическое лечение

Хирургические вмешательства у пациентов с колитом тяжелого течения условно можно разделить на малоинвазивные органосохраняющие и радикальные [6, 7].

Малоинвазивные органосохраняющие хирургические вмешательства выполняются преимущественно в плановом порядке. Их смысл заключается в формировании илеостомы с целью выключения из пассажа толстой кишки и антеградного лаважа лекарственными средствами. Формирование лечебной илеостомы получило наибольшее распространение при ПМК тяжелого течения, когда период неэффективности консервативной не превышает 72 часов [14]. При данной нозологии поражение слизистой носит обратимый характер, что позволяет сохранить ранее пораженные участки и в последующем выполнить реконструктивно-восстановительную операцию [2]. При ЯК формирование отключающей кишечной стомы, как правило, не приводит к значимому улучшению, поскольку поражение слизистой толстой кишки при ЯК имеет ремиттирующий характер. При этом целью формирования отключающей кишечной стомы является перевод тяжелого течения в среднетяжелое и последующего выполнения хирургического вмешательства в плановом порядке [7]. Случаи формирования отключающей кишечной стомы при ИК не описаны.

Радикальные хирургические вмешательства в подавляющем большинстве случаев выполняются по экстренным показаниям. Наиболее частыми показаниями являются исходы токсического мегалокон: гемодинамическая нестабильность, некроз стенки толстой кишки, перфорация стенки толстой кишки, массивное кишечное кровотечение и нарастающая токсемия [2, 3, 21], а также геморрагический инфаркт толстой кишки [4]. Главной целью данных операций является удаление нежизнеспособных участков толстой кишки, являющихся источником токсемии [7]. В связи с чем пересечение кишки осуществляется только на макроскопически здоровом участке [8].

Таблица 1.

Прогностические шкалы и индексы степени тяжести, эффективности медикаментозной терапии и риска неблагоприятного исхода ЯК

	Критерии		Интерпретация
Прогностическая шкала Travis (Оксфордский критерий)	Оценка на 3 сутки после поступления в стационар: — Частота стула ≥8 раз в сутки или — Частота стула ≥3 раз в сутки и СРБ >45 мг/л Оценка на 7 сутки после поступления в стационар: — Частота стула с геморрагическим компонентом ≥3 раз в сутки		Риск колэктомии на момент осмотра составляет 85 % Риск колэктомии в ближайшие 3 месяца составляет 40 %
Прогностическая шкала Ho (Шотландский индекс)	Оценка на 3 сутки после поступления в стационар:		Риск развития резистентности к стероидной терапии: 0–1 балл — низкий — 11 % 2–3 балла — средний — 45 % ≥4 балла — высокий — 85 % ≥4 балла — риск колэктомии на момент осмотра составляет 85 %
	Частота стула в сутки		
	<4	0 баллов	
	4–6	1 балл	
	6–9	2 балла	
	>9	4 балла	
	Дилатация толстой кишки, выявленная при выполнении рентгенологического исследования		
	да	4 балла	
	Альбумин		
	<30 г/л	1 балл	
Прогностический индекс Seo	Оценка на 3 сутки после поступления в стационар: — 60 х частота стула с геморрагическим компонентом +13 х частота актов дефекации +0,5 СОЭ (мм/ч) –4 х гемоглобин (г/дл) –15 х альбумин (г/дл) +200		Оценка степени тяжести: <150 — легкое 150–220 — среднетяжелое >220 — тяжелое При показателе >200 риск колэктомии на момент осмотра составляет 85 %
Шведский прогностический индекс (индекс Lindgren)	Оценка на 3 сутки после поступления в стационар: — Частота актов дефекации +0,14 × СРБ (мг/л)		При показателе ≥8 риск колэктомии на момент осмотра составляет 73 %
Индекс святого Антония	Оценка на 1 сутки после поступления в стационар: — Предшествующая терапия ингибиторами ФНО или тиопуринами — 1 балл — Клостридиальная инфекция — 1 балл — СРБ >30 мг/л — 1 балл — Альбумин <30 г/л — 1 балл		Риск колэктомии: 0 баллов — 0 % 1 балл — 9,4 % 2 балла — 10,6 % 3 балла — 51,2 % 4 балла — 100 %
Шкала ADMIT-ASC	Оценка на 1 сутки после поступления в стационар: — СРБ ≥100 мг/л — 1 балл — Альбумин ≤25 г/л — 1 балл — UCEIS ≥4 — 1 балл — UCEIS ≥7 — 2 балла		Риск развития резистентности к стероидной терапии: 0 баллов — 0 % 1 балл — 30,4 % 2 балла — 59,3 % 3 балла — 82,5 % 4 балла — 100 %
Шкала ACE	Оценка на 1 сутки после поступления в стационар: — СРБ ≥50 мг/л — 1 балл — Альбумин ≤30 г/л — 1 балл — Индекс Mayo 3–1 балл		Риск развития резистентности к стероидной терапии: 0 баллов — 12,9 % 1 балл — 31,5 % 2 балла — 45,5 % 3 балла — 78,1 %

Таблица 2.

Прогностические шкалы и индексы степени тяжести, эффективности медикаментозной терапии и риска неблагоприятного исхода ПМК

	Критерий — балл	Значение
UPMC	— Иммуносупрессия и/или хронические заболевания — 1 балл; — Абдоминальный болевой синдром или вздутие живота — 1 балл; — Гипоальбуминемия (<3 г/дл) — 1 балл; — Лихорадка (>38,5 С°) — 1 балл; — Терапия, проводимая в условиях отделения реанимации — 1 балл; — КТ-признаки панколита — 2 балла; — Лейкоцитоз (≥15 х10^9/л) — 2 балла; — Превышение значений сывороточного креатинина в 1,5 раза — 2 балла; — Перитонеальные симптомы — 3 балла; — Вазопрессорная терапия — 5 баллов; — ИВЛ — 5 баллов; — Когнитивные нарушения — 5 баллов.	Тяжесть течения заболевания: — 1–3 балла — не тяжелое; — 4–6 баллов — тяжелое; — ≥7 баллов — тяжелое осложненное/фульминантное (решение вопроса о необходимости оперативного вмешательства).
ATLAS	— Возраст (лет): --<60 — 0 баллов; --60–79 — 1 балл; --≥80 — 2 балла; — Применение антибиотиков широкого спектра действия в терапии клостридиальной инфекции — 2 балла; — Лейкоциты (х10^9/л): --<16 — 0 баллов; --16-25 — 1 балл; -->25 — 2 балла; — Альбумин (г/дл): -->3,5 — 0 баллов; --2,6-3,5 — 1 балл; --<2,5 — 2 балла; -Сывороточный креатинин (мг/дл): --<1,57 — 0 баллов; --1,58–2,35 — 1 балл; -->2,36 — 2 балла	Прогноз положительного ответа на консервативную терапию: -≤3 балла — >85 %; -4–6 баллов — 74–81 %; — 7–9 баллов — 40–62,5 %. Шкала не применима к пациентам, у которых: — Лейкоцитоз (>25 х10^9/л); — Лихорадка (>40 С°); — Септический шок; — Перитонит.
MGH	— Возраст >70 лет — 2 балла; — Лейкоциты >20х10^9/л или <2 х10^9/л — 1 балл; — Дыхательная и сердечно-сосудистая недостаточность — 7 баллов; — Абдоминальный болевой синдром — 6 баллов	≥6 баллов — риск неблагоприятного течения заболевания.
CARDS	— Терапия, проводимая в условиях отделения реанимации, — 5 баллов; — Возраст (лет): --18–40 — 0 баллов; --41–60 — 2 балла; --61–80 — 3 балла; -— 81–100 — 4 балла; — Острая почечная недостаточность — 3 балла; — Сахарный диабет — 1 балл; — Патология со стороны сердечно-сосудистой или дыхательной систем — 1 балл; — Заболевания печени — 2 балла; — Воспалительные заболевания кишечника — 2 балла; — Онкологическое заболевание — 2 балла	Риск развития летального исхода: — 0 баллов — 0,33–1,15 %; — 5 баллов — 4,4–4,4 %; — 10 баллов — 20,8–23,3 %; — 15 баллов — 48,1–49,7 %; — 18 баллов — 100 %.

	Критерий — балл	Значение
MN	— Возраст (лет): --<65 — 0 баллов; --≥65 — 1 балл; — Абдоминальный болевой синдром или вздутие живота — 1 балл; — Температура тела (С°): --<37 — 0 баллов; --37–37,4 — 1 балл; --37,5–38,4 — 2 балла; --≥38,5 — 3 балла; — Количество актов дефекации: --0–2 — 0 баллов; --3–9 — 1 балл; --≥10 — 2 балла; — Гематохезия — 1 балл; — Лейкоциты (х10^9/л): --<12 — 0 баллов; --12–14,9 — 1 балл; --15–19,9 — 2 балла; --≥20 — 3 балла; — Расчетная скорость клубочковой фильтрации (мл/мин/1,73 $м^2$): --≥80 — 0 баллов; --50–79 — 1 балл; --30–49 — 2 балла; --<30 или диализ — 3 балла; — Альбумин (г/дл): --≥3,0 — 0 баллов; --2,5–2,9 — 1 балл; --2,0–2,4 — 2 балла; --<2,0 — 3 балла; — Рентгенологические признаки дилатации и утолщения стенок толстой кишки, поражения параколической клетчатки, наличия свободной жидкости в брюшной полости и псевдомембран на слизистой толстой кишки — 2 балла.	Тяжесть течения заболевания: — ≤9 баллов — нетяжелое; — 10–13 баллов — тяжелое; — ≥14 баллов — тяжелое осложненное/ фульминантное (решение вопроса о необходимости оперативного вмешательства).

В зависимости от наличия или отсутствия поражения прямой кишки, выполняются тотальная или субтотальная колэктомия [6, 7]. При ИК, помимо вышеуказанных объемов вмешательств, выполняются сегментарные резекции [10].

Тотальная колпроктэктомия с одномоментным формированием илео-анального резервуарного анастомоза в настоящее время выполняется карйне редко из-за большой травматичности вмешательства, а также тяжелого исходного соматического и нутритивного статуса. Двухэтапное вмешательство представляет собой тотальную колпроктэктомию с созданием илео-анального резервуарного анастомоза и формированием петлевой илеостомы на первом этапе и закрытие илеостомы — на втором. Трехэтапное вмешательство — тотальная колэктомия с концевой илеостомой на первом этапе, проктэктомия с петлевой илеостомой — на втором, и закрытие илеостомы — на третьем [5]. Следует отметить, что колпроктэктомия с концевой илеостомой, отнюдь не потеряла свое значение и достаточно широко применяется у определенной группы больных (пожилой и старческий возраст, тяжелая соматическая патология с выраженными метаболическими изменениями на грани истощения) [3].

Субтотальная колэктомия с формированием концевой илеостомы и сохранением культи прямой кишки считается стандартом экстренного хирургического вмешательства при ЯК и ПМК [7, 11].

Важность выполнения радикального хирургического вмешательства по плановым показаниям объяснима тем, что экстренная операция при фульминантном колите сопряжена с повышенным риском эмболии и септических осложнений [6, 7]. Резкое снижение трофики стенки толстой кишки по причине перевязки магистральных сосудов приводит к нарушению барьерной функции толстой кишки и повышению проницаемости кишечной стенки. Транслокация кишечной микрофлоры и высвобождение эндотоксинов увеличивают риск развития полиорганной недостаточности в послеоперационном периоде [8].

Заключение

Проблема ведения пациентов с тяжелым течением ЯК, ПМК и ИК с определением предикторов неблагоприятного прогноза в последнее десятилетие не теряет своей актуальности. Несмотря на существование общих патоморфологических механизмов ЯК, ПМК и ИК, обусловленных различной степенью выраженности и преобладания воспалительных или ишемических составляющих, исследований, проводящих системный сравнительный анализ всех трех нозологий, в настоящее время нет. Анализ литературы показал, что существенных изменений в технологиях хирургического лечения колитов с момента внедрения в практику хирургического вмешательства в объеме формирования петлевой илеостомы нет.

Таким образом, вопрос о выборе тактики ведения пациентов с тяжелым течением ЯК, ПМК и ИК в настоящее до конца не изучен. Проблема раннего выявления предикторов неблагоприятного прогноза остается актуальной по настоящее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Парфенов А.И. Современная концепция дифференциальной диагностики колитов: от Г.Ф. Ланга до наших дней // Терапевтический архив. 2023. № 12 (95). С. 1022–1030.
2. Asaoka M. Clinical Usefulness of the «MN Criteria» — the Clostridioides difficile Infection Severity Scoring System-in the Japanese Setting// Internal Medicine. 2023. № 1 (62). С. 59–67.
3. Cristofaro E.De. Long-Term Risk of Colectomy in Patients with Severe Ulcerative Colitis Responding to Intravenous Corticosteroids or Infliximab // Journal of Clinical Medicine. 2022. № 6 (11). С. 1679.
4. Pata F. Bowel Ischemia Springer, Cham, 2023.С. 239–252.
5. Шелыгин Ю.А. Язвенный колит (К51), взрослые // Колопроктология. 2023. № 1 (22). С. 10–44.
6. Wilden G.M. van der. Fulminant Clostridium difficile colitis // Journal of Trauma and Acute Care Surgery. 2014. № 2 (76). С. 424–430.
7. Marwah S., Godara R., Das S. Fulminant/Toxic Colitis Cham: Springer International Publishing, 2023.С. 1207–1225.
8. Мингазов А.Ф. Факторы риска колэктомии у больных сверхтяжелой атакой язвенного колита // Колопроктология. 2023. № 1 (22). С. 45–53.
9. Ahmad O. Laboratory markers predictive of fulminant Clostridioides difficile infection refractory to fluid resuscitation // Infection Prevention in Practice. 2021. № 2 (3). С. 100127.
10. Beghdadi N. Predictors of mortality following emergency open colectomy for ischemic colitis: a single-center experience // World Journal of Emergency Surgery. 2020. № 1 (15). С. 1–13.
11. Grant R.K. The ACE (Albumin, CRP and Endoscopy) Index in Acute Colitis: A Simple Clinical Index on Admission that Predicts Outcome in Patients with Acute Ulcerative Colitis // Inflammatory Bowel Diseases. 2021. № 4 (27). С. 451–457.
12. Baut G.Le. A Scoring System to Determine Patients' Risk of Colectomy Within 1 Year After Hospital Admission for Acute Severe Ulcerative Colitis // Clinical Gastroenterology and Hepatology. 2021. № 8 (19). С. 1602-1610.e1.
13. Seo M. An index of disease activity in patients with ulcerative colitis. // The American journal of gastroenterology. 1992. № 8 (87). С. 971–6.
14. Neal M.D. Diverting Loop Ileostomy and Colonic Lavage // Annals of Surgery. 2011. № 3 (254). С. 423–429.
15. Kassam Z. Clostridium difficile associated risk of death score (CARDS): a novel severity score to predict mortality among hospitalised patients with C. difficile infection // Alimentary Pharmacology & Therapeutics. 2016. № 6 (43). С. 725–733.
16. Ho G.T. Predicting the outcome of severe ulcerative colitis: development of a novel risk score to aid early selection of patients for second-line medical therapy or surgery // Alimentary Pharmacology & Therapeutics. 2004. № 10 (19). С. 1079–1087.
17. Adams A. Early management of acute severe UC in the biologic's era: development and international validation of a prognostic clinical index to predict steroid response // Gut. 2023. № 3 (72). С. 433–442.
18. Miller M.A. Derivation and validation of a simple clinical bedside score (ATLAS) for Clostridium difficile infection which predicts response to therapy // BMC Infectious Diseases. 2013. № 1 (13). С. 1–7.
19. Travis S.P. Predicting outcome in severe ulcerative colitis. // Gut. 1996. № 6 (38). С. 905–910.
20. Lindgren S.C. Early predictors of glucocorticosteroid treatment failure in severe and moderately severe attacks of ulcerative colitis // European Journal of Gastroenterology & Hepatology. 1998. № 10 (10). С. 831–836.
21. Tanaka M. Low serum albumin at admission is a predictor of early colectomy in patients with moderate to severe ulcerative colitis // JGH Open. 2021. № 3 (5). С. 377–381.

© Кротов Глеб Александрович (krotovgleb@mail.ru); Данилов Михаил Александрович (m.danilov@mknc.ru);
Князев Олег Владимирович (oleg7@bk.ru); Цвиркун Виктор Викторович (v.zvirkun@mknc.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.32

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ РЕАБИЛИТАЦИИ И ДИСПАНСЕРИЗАЦИИ ДЕТЕЙ С ХИМИЧЕСКИМИ ОЖОГАМИ ПИЩЕВОДА

CURRENT ISSUES OF REHABILITATION AND MEDICAL EXAMINATION OF CHILDREN WITH CHEMICAL BURNS THE ESOPHAGUS

N. Pelipenko
N. Barova
A. Stryukovskye
L. Kolomytseva
Z. Eyvazov

Summary. Diagnosis, treatment, rehabilitation, and medical examination of patients with chemical burns of the esophagus is still an urgent problem of pediatric surgery. This is due not only to the high incidence of the pathology— 1:14 000–15 000 people and a persistent tendency to further growth, but also to the constantly increasing number and quality of factors contributing to the development of chemical burns in the esophagus. The issues of rehabilitation and medical examination of this contingent of patients have not been fully resolved.

We have experience in managing 389 people who admitted to the emergency room with suspected chemical burn of the esophagus. A directional diagnosis was excluded — in 163 children (41.19 % of cases). The diagnosis of a chemical burn of the esophagus was verified — in 226 patients (58.09 % of cases). Patients with grade 1 chemical burns the esophagus was treated using traditional methods, because of their rather high clinical efficacy. To confirm the expediency of using in practical healthcare of the developed methods of treatment, rehabilitation and 2 groups were formed for the medical examination of children with chemical burns of the esophagus patients of identical age and sex composition and nosology. The main group is 84 children. The treatment of the child was carried out according to the schemes developed in the clinic. Control — 88 children are treated using traditional methods. The duration of follow-up is up to 12 years. As a result of the use of the developed methods of treatment, palliative surgery and plastic surgery of the esophagus were not performed in the main group of patients. In the control group of patients, palliative surgery (gastrostomy) was performed in 19 patients (21.59 % of cases). Conditionally conservative treatment was ineffective in 3 patients in the control group, which required plastic surgery of the esophagus.

No cases of malignancy in cicatricial strictures of the esophagus were diagnosed in the studied groups.

These data will allow us to recommend the developed treatment, rehabilitation, and medical examination regimen for a wide range of clinical applications.

Keywords: children, chemical burns of the esophagus, treatment, rehabilitation, medical examination.

Пелипенко Николай Владимирович
Кубанский государственный медицинский университет
nikolaipelipenko@yandex.ru
Барова Натуся Каплановна
Кандидат медицинских наук, доцент,
Кубанский государственный медицинский университет
nbarova@yandex.ru
Стрюковский Андрей Евгеньевич
Кандидат медицинских наук, доцент,
Кубанский государственный медицинский университет
An-str@bk.ru
Коломыцева Людмила Николаевна
Кубанский государственный медицинский университет
kolomytseva01@bk.ru
Эйвазов Заур Султанович
Кубанский государственный медицинский университет
z.ejwazov@gmail.com

Аннотация. Диагностика, лечение, реабилитация и диспансеризация пациентов с химическими ожогами пищевода до настоящего времени является актуальной проблемой детской хирургии. Это обусловлено не только высокой частотой встречаемости данной патологии — 1:14000–15000 человек и стойкой тенденцией к дальнейшему росту, но постоянно увеличивающимся количеством и качеством факторов обуславливающих развитие химических ожогов в пищеводе. Не до конца остаются решенными вопросы реабилитации и диспансеризации данного контингента больных.

Располагаем опытом ведения 389 человек поступавших в приёмный покой с подозрением на химический ожог пищевода. Направительный диагноз был исключён — у 163 детей (41,19 % случаев). Диагноз химического ожога пищевода был верифицирован — у 226 больных (58,09 % наблюдений). Пациенты с 1 степенью химического ожога пищевода лечились по традиционным методикам, в следствии их достаточно высокой клинической эффективности. Для подтверждения целесообразности использования в практическом здравоохранении разработанных методов лечения, реабилитации и диспансеризации детей с химическими ожогами пищевода были сформированы 2 группы больных идентичных по возрастно-половому составу и нозологии. Основная группа — 84 ребёнка — лечение проводилось по схемам, разработанным в клинике. Контрольная — 88 детей — лечение по традиционным методикам. Длительность наблюдения до 12 лет.

В результате использования разработанных методов лечения паллиативных операций и пластик пищевода в основной группе больных не проводилось. В контрольной группе больных паллиативные операции (гастростомия) были выполнены — у 19 пациентов (21,59 % случаев). Условно консервативное лечение было неэффективным у 3 больных в группе контроля, что потребовало выполнения пластики пищевода.

Случаев малигнизации в области рубцовых стриктур пищевода, в изучаемых группах, диагностировано не было.

Приведённые данные позволят рекомендовать разработанную схему лечения, реабилитации и диспансеризации для широкого клинического применения.

Ключевые слова: дети, химические ожоги пищевода, лечение, реабилитация, диспансеризация.

Введение

Лечение детей с химическими ожогами пищевода (ХОП) различной этиологии и степени тяжести повреждений имеет длительную историю развития. Постоянно совершенствуются традиционные и разрабатываются новые методы лечения пациентов с ХОП [3,4]. Однако до настоящего времени вопросы диагностики, лечения, реабилитации и диспансеризации, данного контингента больных, не теряют своей значимости. Актуальность проблемы обусловлена не только высокой частотой встречаемости — 1:14000–15000 человек, но и стойкой тенденцией к росту; постоянно появляющимися новыми этиологическими факторами. В последние годы большие проблемы вызывают ХОП, обусловленные дисковыми батарейками. Концентрированные щелочи приводят к развитию тяжёлых постожоговых стриктур пищевода с [1,2,7].

Повышение эффективности методов лечения больных с ХОП значительно снизило количество летальных и увеличило процент выживаемости у детей с данной патологией. Это привело к повышению внимания к вопросам реабилитации и диспансеризации пациентов с ХОП [8,10,11].

Накопленный опыт оценки отдалённых результатов лечения больных, перенёсших ХОП говорит о высоком риске канцерогенеза в поздние сроки. Авторы из Индии сообщают, что у пациентов с коррозионно-индуцированными стриктурами пищевода, риск развития рака пищевода превышает более чем в 1000 раз, данные показатели в популяции [2,3]. Европейские источники говорят о том, что пациенты с различными гистологическими вариантами рака пищевода составляют — до 7,2 % случаев от общего числа больных со злокачественными новообразованиями пищевода. Сроки возникновения онкопатологии в пищеводе достигают 58 лет после его химического ожога [1,2,5].

Этиологическими факторами ХОП, у пациентов у которых были диагностированы злокачественные новообразования пищевода являлись: каустическая сода — рак пищевода диагностирован в сроки 25–54 года после ожога пищевода; комбинированные щелочные растворы обусловили развитие стриктур пищевода — плоскоклеточная карцинома пищевода с метастазами в шейные лимфоузлы, диагностировалась в период до 32 лет после ХОП; гипохлорит натрия — аденокарцинома грудного отдела пищевода диагностирована через 4 года после окончания лечения химического ожога пищевода; уксусная кислота — рак пищевода диагностировался во временном интервале 23–25 лет после ХОП; серная кислота — плоскоклеточная карцинома пищевода, диагностировалась в период до 58 лет после ожога пищевода [1,2,8].

Все вышеописанное достаточно убедительно говорит о необходимости создания единой целостной системы реабилитации и диспансеризации больных с ХОП.

Целью настоящей работы является оптимизация методов реабилитации и диспансеризации больных с ХОП.

Материалы и методы

Наша клиника располагает опытом ведения 389 детей, поступавших в ГБУЗ ДККБ г. Краснодара, за последние 12 лет, с подозрением на ХОП. В условиях приёмного покоя диагноз ХОП был исключён — у 163 пациентов (41,91 % наблюдений). Диагноз ХОП различной этиологии и степени тяжести был верифицирован — у 226 больных (58,09 % случаев). ХОП 1 степени были диагностированы — у 54 детей (23,89 % наблюдений). Учитывая высокую эффективность традиционных методов лечения и отсутствие формирования рубцовых стриктур пищевода, указанная группа из дальнейшего лечения была исключена. В дальнейшем исследовании участвовали 172 ребёнка с ХОП 2-й и 3-й степени, в возрасте от 1 года до 18 лет.

В зависимости от использованных методов лечения, реабилитации и диспансеризации они были распределены, историческим методом, на 2 группы идентичные по возрастно-половому составу, степени поражения стенок пищевода и тяжести состояния при поступлении.

Контрольная группа — 88 больных — лечение, реабилитация и диспансеризация проводились по традиционным методикам.

При лечении данной группы больных, наряду с традиционным лечением, были использованы эндохирургические методы. Для более быстрого купирования воспалительного процесса применялось местное эндоскопически опосредованное введение глюкокортикоидов в очаг поражения. Использовался препарат «Метипред». С целью профилактики возникновения и для лечения рубцовых деформаций просвета пищевода применялось эндоскопически опосредованное введение поливалентного препарата «Лонгидаза 3000 МЕ». Для достижения пролонгированного эффекта, в амбулаторных условиях, препарат «Лонгидаза 3000 МЕ» назначался в форме ректальных суппозиториев.

Применение препарата поливалентного действия «Лонгидаза 3000 МЕ» в амбулаторных условиях, в форме ректальных суппозиториев, относили к реабилитационным мероприятиям.

Проведение комплекса реабилитационных мероприятий, у данного контингента больных, должно начинаться как можно раньше, сразу по установлению диагноза и одновременно с началом лечения.

Разработанная и внедрённая в клиническую практику программа медицинской реабилитации, в основном заключается в комплексе физиотерапевтических методов лечения детей с химическими ожогами пищевода на различных стадиях патологического процесса.

Оптимальным комплексом физиотерапевтического лечения больных с химическими ожогами пищевода в острой стадии считаем индуктотермию от аппарата э.п. УВЧ «70-01-Стрела» и электрофорез с цинком на эзофагогастральную область. Индуктотермия проводилась с применением электрода вихревых токов, генерирующего ультравысокочастотное переменное электромагнитное поле с преобладанием магнитной составляющей. Данная конструкция электрода позволяет фокусировать энергию непосредственно на область проекции пищевода на переднюю поверхность грудной клетки. Это обеспечивает возможность направленного локального воздействия магнитных колебаний с двумя основными целями: противовоспалительной и противоотечной.

Применяемая доза — слаботепловая. Сеансы индуктотермии проводились ежедневно, с временной экспозицией — 7–10 минут. Продолжительность одного курса достигала — 5 процедур, в зависимости от возраста ребёнка.

Электрофорез ОМК (органно-минеральный комплекс + салфетки) проводился по поперечной методике, в возрастных дозировках. Целями электрофореза с органно-минеральным комплексом являлись: противовоспалительная и трофикостимулирующая.

При отсутствии медицинских противопоказаний, описанный комплекс физиотерапевтического лечения дополняли низкоинтенсивным лазерным облучением инфракрасного диапазона на эзофагогастральную и рефлекторно-сегментарную области.

Для его проведения, в нашей клинике, использовался аппарат «Улан Б». Воздействие лазерным облучением проводилось над зоной поражения, с частотой — 1500–1800 Гц. Максимальная временная экспозиция одного сеанса составляла — 7–8 минут. Максимальная длительность курса — 7 облучений. Применение низкоинтенсивного лазерного облучения инфракрасного диапазона, в лечении больных с химическими ожогами пищевода, было обусловленного следующими терапевтическими эффектами: высоким проникновением в ткани — до 6 см, противовоспалительным, обезболивающим, трофикостимулирующим.

В стадии формирования рубцов, особенно после проведения бужирования пищевода, пациентам назначалась магнитотерапия. Курсовая длительность магнитотерапии составляла — 5–7 сеансов, в зависимости от получаемого терапевтического эффекта.

Важным элементом ведения больных с химическими ожогами пищевода является оценка психосоматического состояния детей. Всем пациентам старшей возрастной группы, принимавшим агрессивные химические вещества с суицидальной целью, показано проведения психиатрического обследования. Им проводилась консультация врача-психотерапевта. Дальнейшее обследование и по необходимости коррекция психического состояния больного проводилось по его рекомендациям. Контроль психического состояния и психологическая поддержка, у данного контингента пациентов, проводились перед выпиской ребёнка из стационара вне зависимости от степени тяжести коррозионных повреждений. Для предупреждения рецидива суицидальных попыток, в данной группе больных применялось пролонгированное наблюдение у психотерапевта.

В связи с достаточно большим количеством патологических состояний, развивающихся через длительный период времени, всем пациентам с химическим ожогом пищевода необходимо проведение диспансерного наблюдения. Он проводилось врачом — детским хирургом поликлиники по месту жительства или в краевом детском диагностическом центре, в зависимости от укомплектованности штатов в районах края.

С целью максимально ранней диагностики и своевременного начала лечения таких осложнений, как пост ожоговая стриктура пищевода, всем пациентам со 2–3 степенью химического ожога пищевода проводилось диспансерное наблюдение у детского хирурга в течение 3 лет с момента получения химической травмы пищевода. Через 1 месяц после первичной выписки, всем больным с химическими ожогами пищевода, рекомендовалась плановая госпитализация для проведения эндоскопического контроля за состоянием пищевода в стационарных условиях. При диагностировании развития стриктур начинали проводить бужирование пищевода. Выбор метода бужирования зависел от степени выраженности стеноза и состояния больного. При отсутствии клинических и эндоскопических признаков стенозирования пищевода последующие плановые госпитализации проводились последовательно через 3 и 6 месяцев. При отсутствии клинико-эндоскопических признаков развития стриктур пищевода дальнейшее диспансерное наблюдение продолжалось под контролем врача-детского хирурга амбулаторного звена, по месту жительства больного. Консультации детей с данной патологией проводились детским хирургом каждые 6 месяцев в течение 3 лет с момента получения ожога пищевода, при отсутствии клинических проявлений дисфагических расстройств.

При появлении клинических признаков дисфагических нарушений (нарушение актов глотания, препятствующее прохождению жидкостей, твёрдой пищи или

одновременно того и другого компонента пищевого комка от глотки до желудка), ребёнок госпитализировался в специализированное отделение для дальнейшего детального обследования и выбора тактики лечения.

Пациентам с пост ожоговыми рубцовыми деформациями пищевода, без клинических и эндоскопических признаков стенозирования (том числе и после проведённого комплексного лечения) после выписки из стационара необходимо проводить эзофагогастродуоденоскопию пожизненно, каждые 3 года. Это обусловлено высоким риском развития неопластических процессов в области рубцовых деформаций.

Результаты

Располагаем опытом наблюдения за больными с химическими ожогами пищевода — до 12 лет. Случаев малигнизации рубцово изменённых тканей пищевода диагностировано не было. Показаний к выполнению паллиативных операций, в основной группе больных, не было. У детей, составивших контрольную группу, гастростомия была выполнена — в 21,59 % наблюдений.

При использовании предложенной методики лечения и реабилитации детей с ХОП длительность клинических проявлений воспаления сократилась с 28,39±0,28 дней в контрольной группе, до 19,75±0,29 суток в основной. Лабораторные признаки воспаления в группе контроля купировались — на 27,31±0,23 сутки, а в основной на 22,81±0,16 день. Аналогичные данные получены при оценке эндоскопической картины. Купирование эрозивно-язвенного эзофагита, у пациентов контрольной группы, диагностировалось на 27,83±0,33 сутки, а в основной — 24,13±0,32 день. Продолжительность стойкого купирования дисфагии, у детей составивших контрольную группу, составила — 9,25±0,48 месяца, а у пациентов основной группы — 5,68±0,47 месяцев. Длительность лечения рубцовых стриктур пищевода уменьшилась с 35,23±0.73 месяцев, в контрольной группе, до 23,05±0,76 месяцев — в основной. Весь приведённый сравнительный цифровой материал статистически достоверен (P≤0,001).

Случаев неэффективного консервативного лечения детей с ХОП в основной группе не отмечалось. Консервативное лечение, у детей в контрольной группе, было у 3 человек. Это потребовало проведения радикального хирургического лечения. У 2 больных была выполнена загрудинная колоэзофагопластика; у одного ребёнка — загрудинная пластика пищевода желудком. Послеоперационное течение — без осложнений.

Заключение

Для профилактики возникновения химических ожогов пищевода необходимо жестко ограничить доступ детей к агрессивным химическим веществам; запретить бесплатную коммерциализацию данных веществ. Медицинская реабилитация больных с данной патологией должна начинаться в максимально ранние сроки. Пациенты старшего возраста, принимавшие агрессивные химические вещества с суицидальной целью должны находиться под контролем не только детского хирурга, но и психолога. Все дети с данной патологией должны находиться на диспансерном учёте минимум 3 года.

Больные с рубцовыми деформациями пищевода, даже не вызывающие нарушений прохождения пищевого комка по пищеводу, должны находиться на диспансерном наблюдении пожизненно. Контрольное эндоскопическое обследование, в данной группе больных должно проводиться не реже одного раза в 3 года. Это обусловлено высокой степенью риска возникновения злокачественных новообразований в области рубцовых деформаций

При появлении клиники дисфагии, дети, имеющие в анамнезе химический ожог пищевода, должны быть госпитализированы и обследованы в экстренном порядке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черноусов А.Ф., Ручкин Д.В., Черноусов Ф.А., Балалыкин Д.А. Болезни искуственного пищевода. М.: Видар, 2008; 690.
2. Дробязгин Е.А., Чикинев Ю.В., Судовых И.Е. Рак пищевода после химического ожога. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2019, №1, с. 27–31. https://doi.org/10.17116/hirurgia201901127
3. Bolia R., Sarma M.S., Biradar V., Sathiyasekaran M., Srivastava A. Current practices in the management of corrosive ingestion in children: A questionnaire-basedsurvey and recommendations. Indian J. Gastroenterol 2021; 40(3):316–325. https://doi.org/10.1007/s12664-021-01153-z
4. Hoffman R.S., Burns M.M., Gosselin S. Ingestion of Caustic Substances. N. Engl. J. Med. 2020; 382(18):1739–1748. https://doi.org/10.1056/NEJMra1810769
5. Павлушин П.М., Грамзин А.В., Трушин П.В., Ивановский Г.Е., Чикинёв Ю.В. Результаты лечения химических ожогов пищевода у детей. Сибирский медицинский вестник. 2021; 1:40–45. https://doi.org/10.31549/2541-8289-2021-1-40-45
6. El-Asmar K.M., Youssef A.A., Abdel-Latif M. The Effectiveness of Combined Balloon and Bougie Dilatation Technique in Children with Impassable Esophageal Stricture. J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. A. 2021;31(6):724–728. https://doi.org/10.1089/lap.2020.0926
7. Rabeh R.B., Mazigh S., Yahyaoui S., Boukthir S. Caustic ingestion in Tunisian children: Endoscopic findings, complications and predictors of severe injuries in a cohort of 1059 patients. Arch. Pediatr. 2022;29(8):573–580. https://doi.org/10.1016/j.arcped.2022.08.019
8. Воронецкий А.Н. Эндоскопия в лечении детей со стриктурой пищевода после химического ожога. Эндоскопическая хирургия. 2018;24(3):33–37. https://doi.org/10.17116/endoskop201824333

9. Anayurt M., Karaman A., Balcı O., Ozguner I.F., Karaman I. The effects of hesperidin on stricture formation in corrosive esophageal burns: an experimental study. Esophagus. 2022;19(1):189–196. https://doi.org/10.1007/s10388-021-00861-x
10. Шарипов А.М., Шамсзода Х.А., Рахматова Р.А., Юсупов Б.Х., Додочонов Ю.Т. [и др.]. Лечение детей с последствиями химического ожога пищевода. Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. 2020; 10(2):217–226. https://doi.org/10.17816/psaic678
11. Ормантаев К.С., Турсунов К.Т., Мырзахмет С.А., Сагымбаева А.А. Рациональный выбор тактики консервативного и хирургического лечения химических ожогов пищевода у детей. Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии. 2016; 6 (3):35–39.
12. Tandon S., Burnand K.M., Coppi P., McLaren C.A., Roebuck D.J., Curry J.I. Self-expanding esophageal stents for the management of benign refractory esophageal strictures in children: A systematic review and review of outcomes at a single center. J. Pediatr. Surg. 2019; 54(12):2479–2486. https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.08.041

© Пелипенко Николай Владимирович (nikolaipelipenko@yandex.ru); Барова Натуся Каплановна (nbarova@yandex.ru);
Стрюковский Андрей Евгеньевич (An-str@bk.ru); Коломыцева Людмила Николаевна (kolomytseva01@bk.ru);
Эйвазов Заур Султанович (z.ejwazov@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.33

ПОСЛЕДСТВИЯ COVID-19 У ПАЦИЕНТОВ СТРАДАЮЩИХ ХСН

CONSEQUENCES OF COVID-19 ON PATIENTS SUFFERING FROM CHF

D. Ponomarev

Summary. *The purpose of the study*. To evaluate the effects of COVID-19 in patients with CHF who are registered 6 months after the disease, including repeated transmission of COVID-19.
Materials and methods. The study included patients undergoing treatment or being observed at a medical center.
The sample consisted of 172 patients diagnosed with CHF from January 1, 2023, to December 31, 2024, aged 46 to 74 years.
The studies were conducted based on the results of laboratory examination methods: laboratory tests, including blood, troponin I, C-reactive protein; electrocardiography (ECG); echocardiography (EchoCG); Holter ECG monitoring (XM ECG); ultrasound of the veins of the lower extremities; magnetic resonance imaging (MRI) of the heart.

Keywords: COVID-19, patients with CHF, tests, results.

Пономарев Денис Сергеевич
Кандидат медицинских наук, врач-кардиолог,
Филиал ООО «МЕДТОРГСЕРВИС»
Ponomarev@medtorgservis.ru

Аннотация. *Цель исследования*. Оценить последствия COVID-19 у пациентов с ХСН, состоящих на учете, через 6 месяцев после перенесенного заболевания, в том числе повторно перенесенного COVID-19.
Материал и методы. В исследование включены пациенты, проходящие лечение или наблюдавшиеся в медицинском центре.
Выборка составила 172 пациента с диагнозом ХСН за период с 1 января 2023 по 31 декабря 2024 в возрасте от 46 до 74 лет.
Исследования проводились на основании результатов лабораторных методов обследования: лабораторных анализов, в том числе крови, тропонина I, С-реактивного белка; электрокардиография (ЭКГ); эхокардиография (ЭхоКГ); холтеровское мониторирование ЭКГ (ХМ ЭКГ); УЗИ вен нижних конечностей; магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца.

Ключевые слова: COVID-19, пациенты с ХСН, анализы, результаты.

Введение

COVID-19 (Corona-Virus Disease 2019) может протекать в разных формах [1; 2, с. 27]. Тяжесть заболевания COVID-19 зависит от возраста пациента и наличия сопутствующих заболеваний. У пациентов с ХСН смертельные исходы и осложнения после заражения COVID-19 встречается намного чаще.

После перенесения заболевания у многих пациентов страдающих ХСН стали появляется симптомы иных заболеваний различной интенсивности, которые они ранее не наблюдали [3; 4; 5; 6; 7; 8; 9, с. 630].

Пандемия COVID-19 оказала беспрецедентное влияние на глобальное здравоохранение, создав особые риски для пациентов с хроническими сердечно-сосудистыми заболеваниями. Среди особо уязвимых категорий выделяются пациенты с хронической сердечной недостаточностью (ХСН), для которых инфекция SARS-CoV-2 представляет многофакторную угрозу, связанную как с непосредственным кардиотропным действием вируса, так и с системными патофизиологическими механизмами. Текущий этап эволюции пандемии характеризуется смещением фокуса исследовательского интереса с острой фазы заболевания на его долгосрочные последствия. Метаанализы последних лет демонстрируют устойчивую тенденцию к формированию комплекса постковидных сердечно-сосудистых осложнений у пациентов с предсуществующей ХСН. По данным крупного когортного исследования с участием 47780 пациентов, перенесших COVID-19, риск развития сердечно-сосудистых осложнений в течение года после инфекции увеличивается на 63 % по сравнению с контрольной группой, причем наиболее выраженный эффект наблюдается у лиц с исходной ХСН.

Современное понимание патогенеза постковидного синдрома у кардиологических пациентов основывается на комплексном взаимодействии нескольких ключевых механизмов. Прямое цитотоксическое действие SARS-CoV-2 на кардиомиоциты через рецепторы АПФ-2 сочетается с системным воспалительным ответом и эндотелиальной дисфункцией, вызывая долгосрочные структурно-функциональные изменения миокарда. Особую значимость приобретает феномен «цитокинового шторма», провоцирующий прогрессирование сердечной недостаточности и дестабилизацию хронических сердечно-сосудистых заболеваний. При этом клинические проявления постковидного синдрома у пациентов с ХСН отличаются гетерогенностью и вариабельной динамикой.

В современной научной литературе отсутствует консенсус относительно терминологических аспектов постковидных состояний. Различные исследовательские группы используют термины «длительный COVID» (Long COVID), «постковидный синдром» (Post-COVID

Syndrome), «постострые последствия SARS-CoV-2» (Post-Acute Sequelae of SARS-CoV-2, PASC), что затрудняет методологическую унификацию. В контексте нашего исследования мы придерживаемся определения Всемирной организации здравоохранения, согласно которому постковидное состояние характеризуется персистенцией симптомов или появлением новых симптомов через 3 месяца после начала COVID-19, продолжающихся не менее 2 месяцев, при отсутствии альтернативного диагноза.

Анализ современной научной литературы выявляет следующие нерешенные вопросы в области изучения постковидных состояний у пациентов с ХСН. Во-первых, отсутствует систематизированная оценка спектра и частоты кардиоваскулярных проявлений постковидного синдрома у пациентов с различными функциональными классами ХСН. Во-вторых, недостаточно данных о корреляции между тяжестью острой фазы COVID-19 и выраженностью отдаленных сердечно-сосудистых осложнений, особенно при повторных случаях инфицирования. В-третьих, остается неясным прогностическое значение биомаркеров (NT-proBNP, тропонин, Д-димер) в отношении долгосрочных исходов у данной категории пациентов.

Актуальность нашего исследования определяется комплексным подходом к оценке постковидных изменений у пациентов с ХСН через 6 месяцев после перенесенной инфекции, включая случаи повторного инфицирования. Предлагаемый методологический подход позволяет интегрировать клинические, лабораторные и инструментальные данные для формирования целостного представления о патофизиологических механизмах и клинических проявлениях постковидного синдрома у кардиологических пациентов. Особую ценность представляет анализ случаев повторного инфицирования SARS-CoV-2, что приобретает критическую значимость в условиях продолжающейся циркуляции вируса и появления новых вариантов. Полученные результаты могут служить основой для разработки оптимизированных протоколов диспансерного наблюдения и реабилитации пациентов с ХСН, перенесших COVID-19.

Материал и методы

Представленное исследование спроектировано как проспективное когортное наблюдение с фиксированной конечной точкой оценки в 6 месяцев после документированного случая COVID-19. Выбор данного дизайна обусловлен необходимостью стандартизации временных интервалов для корректной оценки постковидных изменений и обеспечения внутренней валидности исследования. Шестимесячный период наблюдения соответствует международным рекомендациям по мониторингу постковидных состояний и позволяет оценить стойкие патофизиологические изменения после перенесенной инфекции SARS-CoV-2.

В выборку включались пациенты, проходившие лечение или наблюдавшиеся в медицинском центре с верифицированным диагнозом ХСН, у которых в период с 1 января 2023 по 31 декабря 2024 года был документально подтвержден случай COVID-19. Верификация факта инфицирования SARS-CoV-2 проводилась на основании положительного результата ПЦР-диагностики и/или характерной клинической картины в сочетании с результатами серологического исследования. Для включения в исследование использовались следующие критерии: 1) возраст от 18 до 75 лет; 2) верифицированный диагноз ХСН согласно критериям Европейского общества кардиологов (ESC, 2021); 3) регулярное наблюдение в медицинском центре не менее 12 месяцев до эпизода COVID-19; 4) документированный случай COVID-19 в указанный период; 5) наличие информированного согласия на участие в исследовании.

Критериями исключения служили: 1) декомпенсация ХСН, требующая госпитализации в течение 1 месяца до COVID-19; 2) острый коронарный синдром в течение 3 месяцев до COVID-19; 3) тяжелая коморбидная патология, ограничивающая продолжительность жизни (онкологические заболевания в терминальной стадии, тяжелая печеночная или почечная недостаточность); 4) неспособность пациента к адекватному сотрудничеству; 5) отказ от участия в исследовании.

Итоговая выборка составила 172 пациента (103 мужчины и 69 женщин) в возрасте от 46 до 74 лет (средний возраст 63,7±8,2 года). Стратификация пациентов по функциональному классу ХСН согласно классификации NYHA показала следующее распределение: I ФК — 18 пациентов (10,5 %), II ФК — 93 пациента (54,1 %), III ФК — 56 пациентов (32,6 %), IV ФК — 5 пациентов (2,9 %). По этиологии ХСН преобладали пациенты с ишемической болезнью сердца (68,6 %), гипертонической болезнью (82,0 %), клапанными пороками сердца (16,3 %) и дилатационной кардиомиопатией (8,7 %).

Методологический комплекс исследования включал клинический, лабораторный и инструментальный компоненты. Клиническая оценка проводилась посредством стандартизированного опросника, включающего валидированные шкалы для квантификации симптомов ХСН (Миннесотский опросник качества жизни при сердечной недостаточности, MLHFQ) и постковидного синдрома (Post-COVID-19 Functional Status Scale, PCFS). Оценка функционального статуса осуществлялась с применением теста 6-минутной ходьбы.

Лабораторный компонент включал комплексный анализ биомаркеров, отражающих различные аспекты

патофизиологии ХСН и COVID-19: 1) показатели функции сердца (NT-proBNP, тропонин I высокочувствительный); 2) маркеры воспаления (С-реактивный белок высокочувствительный, интерлейкин-6, фибриноген); 3) показатели коагуляционного статуса (Д-димер, протромбиновое время, АЧТВ); 4) гематологические показатели (общий анализ крови с лейкоцитарной формулой); 5) биохимические параметры (электролиты, функция печени и почек). Забор биоматериала проводился в стандартизированных условиях с соблюдением преаналитических требований. Лабораторные исследования выполнялись на сертифицированном оборудовании с использованием валидированных методик. Инструментальная диагностика включала следующие методы: 1) электрокардиография (ЭКГ) в 12 стандартных отведениях; 2) эхокардиография (ЭхоКГ) с допплерографией; 3) холтеровское мониторирование ЭКГ (ХМ ЭКГ) в течение 24–48 часов; 4) ультразвуковое исследование вен нижних конечностей; 5) магнитно-резонансная томография (МРТ) сердца с контрастированием гадолинием (при наличии показаний).

Эхо кардиографическое исследование проводилось по стандартному протоколу с оценкой линейных размеров камер сердца, систолической и диастолической функции левого желудочка, клапанного аппарата, давления в малом круге кровообращения. Оценка систолической функции левого желудочка включала расчет фракции выброса по методу Simpson. Диастолическая функция левого желудочка оценивалась по соотношению E/A, времени изоволюмического расслабления (IVRT), времени замедления раннего диастолического наполнения (DT) и соотношению E/e'.

Холтеровское мониторирование ЭКГ проводилось с использованием 12-канального регистратора с последующей компьютерной обработкой результатов. Анализировались следующие параметры: среднесуточная, минимальная и максимальная частота сердечных сокращений; наличие и характеристика нарушений ритма и проводимости; эпизоды ишемии миокарда; вариабельность сердечного ритма.

Магнитно-резонансная томография сердца выполнялась на аппарате с напряженностью магнитного поля 1,5 Тесла с использованием стандартных последовательностей, включая T1- и T2-взвешенные изображения, кино-МРТ, раннее и отсроченное контрастирование. Оценивались объемы камер сердца, функциональные показатели, наличие отека и фиброза миокарда.

Статистический анализ данных проводился с использованием программного обеспечения SPSS версии 26.0. Нормальность распределения количественных переменных оценивалась с помощью критерия Шапиро-Уилка. Количественные переменные с нормальным распределением представлены как среднее значение ± стандартное отклонение (M±SD), с ненормальным распределением — как медиана и межквартильный размах (Me [Q1; Q3]). Категориальные переменные представлены как абсолютные значения и проценты. Для сравнения количественных переменных использовались параметрические (t-критерий Стьюдента) и непараметрические (U-критерий Манна-Уитни, критерий Вилкоксона) методы. Сравнение категориальных переменных проводилось с помощью критерия χ^2, точного критерия Фишера. Для выявления корреляций использовался коэффициент корреляции Спирмена. Для определения независимых предикторов неблагоприятных исходов применялась многофакторная логистическая регрессия. Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$.

Результаты

Демографические и клинические характеристики исследуемой когорты пациентов представлены в таблице 1. Анализ базовых параметров демонстрирует типичный профиль популяции с ХСН с преобладанием мужчин, высоким уровнем коморбидности и значительной долей ишемической этиологии заболевания.

Таблица 1.

Демографические и клинические характеристики пациентов с ХСН, перенесших COVID-19 (n=172)

Характеристика	Значение
Пол (мужской/женский), n (%)	103 (59,9) / 69 (40,1)
Возраст, лет (M±SD)	63,7±8,2
Индекс массы тела, кг/м^2 (M±SD)	29,8±4,7
Функциональный класс ХСН по NYHA, n (%)	
I	18 (10,5)
II	93 (54,1)
III	56 (32,6)
IV	5 (2,9)
Фракция выброса левого желудочка, % (M±SD)	43,2±10,6
ХСН с сохраненной ФВ (≥50%), n (%)	64 (37,2)
ХСН с промежуточной ФВ (40–49%), n (%)	48 (27,9)
ХСН с низкой ФВ (<40%), n (%)	60 (34,9)
Этиология ХСН, n (%)	
Ишемическая болезнь сердца	118 (68,6)
Гипертоническая болезнь	141 (82,0)
Клапанные пороки сердца	28 (16,3)

Характеристика	Значение
Дилатационная кардиомиопатия	15 (8,7)
Сопутствующие заболевания, n (%)	
Сахарный диабет 2 типа	54 (31,4)
Хроническая болезнь почек	47 (27,3)
ХОБЛ	23 (13,4)
Фибрилляция предсердий	58 (33,7)
Тяжесть перенесенного COVID-19, n (%)	
Легкая	78 (45,3)
Средняя	76 (44,2)
Тяжелая	18 (10,5)
Повторные случаи COVID-19, n (%)	37 (21,5)
Вакцинация против COVID-19, n (%)	103 (59,9)

В ходе шестимесячного наблюдения у большинства пациентов (83,7 %) отмечались те или иные проявления постковидного синдрома, с преобладанием астенического комплекса (76,2 %), кардиореспираторных симптомов (59,3 %) и нейрокогнитивных нарушений (42,4 %). Частота и выраженность симптомов демонстрировала достоверную корреляцию с исходной тяжестью ХСН (r=0,62, p <0,001) и перенесенного COVID-19 (r=0,58, p <0,001). Анализ лабораторных показателей через 6 месяцев после перенесенного COVID-19 выявил значимые отклонения у существенной части пациентов (таблица 2). Особенно выраженные изменения наблюдались в уровне NT-proBNP, что свидетельствует о неблагоприятном влиянии перенесенной инфекции на функциональное состояние миокарда у пациентов с предсуществующей ХСН.

Таблица 2.

Лабораторные показатели пациентов с ХСН через 6 месяцев после перенесенного COVID-19 (n=172)

Показатель	Нормальные значения	Значение (Me [Q1; Q3])	Отклонение от нормы, n (%)
Гемоглобин, г/л	120–160	126 [112; 138]	65 (37,8)
Лейкоциты, $\times 10^9$/л	4,0–9,0	6,2 [5,1; 7,8]	43 (25,0)
Нейтрофилы, %	47–72	62 [54; 69]	51 (29,7)
Лимфоциты, %	19–37	24 [19; 29]	58 (33,7)
Тромбоциты, $\times 10^9$/л	180–320	219 [187; 256]	37 (21,5)
NT-proBNP, пг/мл	<125	642 [312; 1285]	108 (62,8)
Тропонин I, нг/мл	<0,014	0,018 [0,008; 0,034]	21 (12,2)
вчСРБ, мг/л	<5,0	4,2 [2,1; 8,7]	24 (14,0)
Интерлейкин-6, пг/мл	<7,0	5,6 [3,2; 9,8]	52 (30,2)
Фибриноген, г/л	2,0–4,0	3,7 [3,1; 4,3]	39 (22,7)
Д-димер, мкг/мл	<0,5	0,63 [0,38; 0,92]	40 (23,3)
Креатинин, мкмоль/л	59–104	92 [78; 113]	58 (33,7)
СКФ (CKD-EPI), мл/мин/1,73 м^2	>60	67 [54; 82]	67 (39,0)
Глюкоза, ммоль/л	3,9–6,1	5,9 [5,2; 6,7]	53 (30,8)
Общий холестерин, ммоль/л	<5,2	4,8 [4,1; 5,6]	61 (35,5)
ЛПНП, ммоль/л	<3,0	2,8 [2,3; 3,4]	59 (34,3)
Калий, ммоль/л	3,5–5,1	4,4 [4,0; 4,8]	29 (16,9)
Натрий, ммоль/л	136–145	139 [137; 142]	32 (18,6)

Детальный анализ гематологических параметров выявил анемию у 38,4 % пациентов (средней степени тяжести у 14,5 %), лимфопению у 31,4 % и нейтропению у 18,6 %. У пациентов с тяжелым течением COVID-19 и повторными случаями инфицирования частота гематологических нарушений была достоверно выше (p <0,01). Обнаруженные изменения свидетельствуют о пролонгированном воздействии SARS-CoV-2 на систему кроветворения и иммунный статус. Особого внимания заслуживают выявленные изменения биомаркеров сердечной функции и воспаления. Уровень NT-proBNP превышал референсные значения у 62,8 % пациентов, причем у 37,2 % превышение составляло более чем в 5 раз выше верхней границы нормы. Установлена сильная положительная корреляция между уровнем NT-proBNP и функциональным классом ХСН (r=0,74, p <0,001), а также тяжестью перенесенного COVID-19 (r=0,68, p<0,001). У пациентов с повторными случаями COVID-19 средний уровень NT-proBNP был на 43,6 % выше, чем у пациентов с однократным инфицированием (926 [578; 1642] пг/мл vs 645 [298; 1167] пг/мл, p<0,001).

Повышение уровня высокочувствительного тропонина I наблюдалось у 12,2 % пациентов, что может свидетельствовать о персистирующем повреждении миокарда даже через 6 месяцев после COVID-19. Персистирующее воспаление, отраженное в повышении вчСРБ и интерлейкина-6, выявлено у 14,0% и 30,2 % пациентов соответственно. Повышение Д-димера у 23,3 % пациентов указывает на пролонгированную активацию системы гемостаза.

Анализ результатов инструментальных исследований сердечно-сосудистой системы через 6 месяцев после

COVID-19 (таблица 3) демонстрирует высокую частоту функциональных и структурных нарушений, значительно превышающую исходный уровень до инфицирования SARS-CoV-2.

Таблица 3.

Результаты инструментальных исследований сердечно-сосудистой системы у пациентов с ХСН через 6 месяцев после COVID-19 (n=172)

Показатель	Значение	Отклонение от исходных показателей, %
Электрокардиография (ЭКГ)		
Средняя ЧСС, уд/мин (M±SD)	92±14	+16,7
Нарушения ритма сердца, n (%)	58 (33,7)	+16,1
Фибрилляция/трепетание предсердий, n (%)	43 (25,0)	+8,3
Желудочковые аритмии, n (%)	22 (12,8)	+4,7
Нарушения проводимости, n (%)	36 (20,9)	+6,4
Признаки ишемии миокарда, n (%)	31 (18,0)	+4,7
Эхокардиография (ЭхоКГ)		
Фракция выброса ЛЖ, % (M±SD)	41,3±10,9	–1,9
Ухудшение ФВ ЛЖ на ≥5%, n (%)	52 (30,2)	–
Конечно-диастолический объем ЛЖ, мл (M±SD)	167±43	+5,8
Увеличение КДО ЛЖ на ≥10%, n (%)	47 (27,3)	–
Диастолическая дисфункция ЛЖ, n (%)	148 (86,0)	+9,3
1 тип (нарушение релаксации)	82 (47,7)	+2,4
2 тип (псевдонормализация)	48 (27,9)	+5,2
3 тип (рестриктивный)	18 (10,5)	+1,7
СДЛА, мм рт. ст. (M±SD)	36,8±10,2	+12,2
Легочная гипертензия, n (%)	63 (36,6)	+8,7
Перикардиальный выпот, n (%)	24 (14,0)	+11,1
Холтеровское мониторирование ЭКГ		
Средняя ЧСС за сутки, уд/мин (M±SD)	78±12	+6,9
Нарушения ритма сердца, n (%)	115 (66,9)	+14,5
Наджелудочковые экстрасистолы >100/сут, n (%)	87 (50,6)	+11,6
Желудочковые экстрасистолы >100/сут, n (%)	68 (39,5)	+8,2
Пароксизмы фибрилляции предсердий, n (%)	48 (27,9)	+5,8
Неустойчивая желудочковая тахикардия, n (%)	19 (11,0)	+4,6
Паузы >2 сек, n (%)	16 (9,3)	+3,5
Депрессия сегмента ST ≥1 мм, n (%)	42 (24,4)	+7,0
УЗИ вен нижних конечностей		
Тромбоз вен нижних конечностей, n (%)	14 (8,1)	+6,0
Признаки хронической венозной недостаточности, n (%)	56 (32,6)	+8,7
МРТ сердца (n=63)		
Признаки миокардита, n (%)	12 (19,0)	+19,0
Фиброз миокарда, n (%)	34 (54,0)	+22,2
Отек миокарда, n (%)	9 (14,3)	+14,3
Дисфункция правого желудочка, n (%)	24 (38,1)	+15,9

Электрокардиографические исследования показали значительное увеличение частоты нарушений ритма сердца через 6 месяцев после перенесенного COVID-19. У 33,7 % пациентов были выявлены различные аритмии, что на 16,1 % превышает исходный уровень до инфицирования. Наиболее часто регистрировались фибрилляция и трепетание предсердий (25,0 %), желудочковые аритмии (12,8 %), нарушения проводимости (20,9 %). Признаки ишемии миокарда были выявлены у 18,0 % пациентов, что на 4,7 % выше исходного уровня. Эхо кардиографическое исследование продемонстрировало ухудшение систолической функции левого желудочка у 30,2 % пациентов, при этом среднее снижение фракции выброса составило 1,9 % в абсолютных значениях. У 27,3 % пациентов отмечено увеличение конечно-диастолического объема левого желудочка на 10 % и более от исходного уровня, что свидетельствует о прогрессировании ремоделирования миокарда. Диастолическая дисфункция левого желудочка выявлена у 86,0% пациентов, что на 9,3 % превышает исходный уровень. При этом наблюдалось увеличение доли пациентов с более тяжелыми типами диастолической дисфункции (псевдонормализация и рестриктивный тип). Средний уровень систолического давления в легочной артерии увеличился на 12,2 %, а частота легочной гипертензии — на 8,7 %.

Холтеровское мониторирование ЭКГ выявило нарушения ритма сердца у 66,9 % пациентов, что на 14,5 %

превышает исходный уровень. Наиболее часто регистрировались наджелудочковые экстрасистолы более 100 в сутки (50,6 %), желудочковые экстрасистолы более 100 в сутки (39,5 %), пароксизмы фибрилляции предсердий (27,9 %). Неустойчивая желудочковая тахикардия зарегистрирована у 11,0 % пациентов, что на 4,6 % выше исходного уровня. Ишемические изменения в виде депрессии сегмента ST ≥1 мм выявлены у 24,4 % пациентов. УЗИ вен нижних конечностей выявило тромбоз у 8,1 % пациентов, что на 6,0 % превышает исходный уровень. Признаки хронической венозной недостаточности обнаружены у 32,6 % пациентов, что на 8,7 % выше исходного уровня.

МРТ сердца, выполненная у 63 пациентов по показаниям, выявила признаки миокардита у 19,0 %, фиброз миокарда у 54,0 %, отек миокарда у 14,3 % и дисфункцию правого желудочка у 38,1 % пациентов. Эти показатели значительно превышают исходный уровень до COVID-19, что свидетельствует о существенном влиянии SARS-CoV-2 на структуру и функцию миокарда даже через 6 месяцев после инфекции.

Особый интерес представляет сравнительный анализ клинико-лабораторных и инструментальных показателей у пациентов, перенесших COVID-19 однократно (n=135) и повторно (n=37). Результаты данного анализа представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Сравнительный анализ показателей у пациентов с ХСН, перенесших COVID-19 однократно и повторно

Показатель	Однократный COVID-19 (n=135)	Повторный COVID-19 (n=37)	p-значение
Клинические параметры			
Усугубление ФК ХСН на ≥1 класс, n (%)	38 (28,1)	19 (51,4)	0,008
Снижение дистанции 6-минутной ходьбы ≥50 м, n (%)	42 (31,1)	24 (64,9)	<0,001
Госпитализации по поводу декомпенсации ХСН, n (%)	23 (17,0)	14 (37,8)	0,007
Усиление одышки, n (%)	56 (41,5)	29 (78,4)	<0,001
Нарастание отеков, n (%)	44 (32,6)	23 (62,2)	0,001
Персистирующая слабость, n (%)	72 (53,3)	30 (81,1)	0,002
Лабораторные показатели			
NT-proBNP, пг/мл	572 [298; 1028]	926 [578; 1642]	<0,001
Тропонин I, нг/мл	0,012 [0,007; 0,026]	0,026 [0,014; 0,042]	0,003
вчСРБ, мг/л	3,8 [1,8; 6,4]	5,9 [3,2; 10,8]	0,004
Интерлейкин-6, пг/мл	4,9 [2,8; 7,6]	8,2 [4,7; 13,5]	<0,001
Д-димер, мкг/мл	0,58 [0,32; 0,78]	0,84 [0,56; 1,18]	0,002
Эхо кардиографические параметры			
Фракция выброса ЛЖ, %	42,1±10,5	38,4±11,4	0,031
Снижение ФВ ЛЖ на ≥5%, n (%)	34 (25,2)	18 (48,6)	0,005
Увеличение КДО ЛЖ на ≥10%, n (%)	31 (23,0)	16 (43,2)	0,015
СДЛА, мм рт. ст.	34,9±9,6	41,7±10,8	<0,001
Диастолическая дисфункция 2–3 типа, n (%)	47 (34,8)	19 (51,4)	0,037
Холтеровское мониторирование ЭКГ			
Нарушения ритма сердца, n (%)	84 (62,2)	31 (83,8)	0,011
Желудочковые экстрасистолы >100/сут, n (%)	48 (35,6)	20 (54,1)	0,038
Пароксизмы фибрилляции предсердий, n (%)	33 (24,4)	15 (40,5)	0,045
Неустойчивая желудочковая тахикардия, n (%)	12 (8,9)	7 (18,9)	0,084
Депрессия сегмента ST ≥1 мм, n (%)	28 (20,7)	14 (37,8)	0,031

Полученные данные свидетельствуют о значительно более выраженных негативных изменениях у пациентов, перенесших COVID-19 повторно. В этой группе достоверно чаще наблюдалось усугубление функционального класса ХСН (51,4 % vs 28,1 %, p=0,008), снижение толерантности к физической нагрузке (64,9 % vs 31,1 %, p <0,001), госпитализации по поводу декомпенсации ХСН (37,8 % vs 17,0 %, p=0,007).

Лабораторные показатели в группе с повторным COVID-19 также демонстрировали более выраженные отклонения: уровень NT-proBNP был выше на 61,9 % (p<0,001), тропонина I — на 116,7 % (p=0,003), вчСРБ — на 55,3 % (p=0,004), интерлейкина-6 — на 67,3 %

(p<0,001), Д-димера — на 44,8 % (p=0,002). Эхокардиографические параметры в группе с повторным COVID-19 характеризовались более низкой фракцией выброса левого желудочка (38,4±11,4 % vs 42,1±10,5 %, p=0,031), более частым снижением ФВ ЛЖ на ≥5 % (48,6 % vs 25,2 %, p=0,005) и увеличением КДО ЛЖ на ≥10 % (43,2 % vs 23,0 %, p=0,015), более высоким систолическим давлением в легочной артерии (41,7±10,8 vs 34,9±9,6 мм рт. ст., p<0,001), более высокой частотой выраженной диастолической дисфункции (51,4 % vs 34,8 %, p=0,037). Холтеровское мониторирование ЭКГ также выявило более высокую частоту нарушений ритма сердца (83,8 % vs 62,2 %, p=0,011), желудочковых экстрасистол (54,1 % vs 35,6 %, p=0,038), пароксизмов фибрилляции предсердий (40,5 % vs 24,4 %, p=0,045) и ишемических изменений (37,8 % vs 20,7 %, p=0,031) в группе с повторным COVID-19.

Многофакторный анализ выявил независимые предикторы неблагоприятного течения ХСН через 6 месяцев после COVID-19, представленные в таблице 5.

Таблица 5.

Независимые предикторы неблагоприятного течения ХСН через 6 месяцев после перенесенного COVID-19 (многофакторный анализ)

Предиктор	ОШ (95% ДИ)	p-значение
Повторный случай COVID-19	3,42 (1,68–6,97)	<0,001
Тяжелое течение COVID-19	2,86 (1,43–5,72)	0,003
ФК ХСН III–IV до COVID-19	2,35 (1,29–4,28)	0,005
Фракция выброса ЛЖ <40 %	2,18 (1,17–4,06)	0,014
Возраст ≥65 лет	1,74 (0,98–3,09)	0,058
Сахарный диабет	1,93 (1,05–3,54)	0,034
Фибрилляция предсердий	1,86 (1,02–3,41)	0,042
Отсутствие вакцинации против COVID-19	1,79 (1,01–3,18)	0,046
NT-proBNP >1000 пг/мл после COVID-19	3,26 (1,78–5,95)	<0,001
Повышение тропонина I	2,19 (1,12–4,27)	0,021
Д-димер >0,5 мкг/мл	1,84 (1,02–3,32)	0,043
Интерлейкин-6 >7 пг/мл	2,08 (1,14–3,82)	0,017

Наиболее сильными независимыми предикторами неблагоприятного течения ХСН через 6 месяцев после COVID-19 оказались повторный случай COVID-19 (ОШ 3,42, 95 % ДИ 1,68–6,97, p<0,001), уровень NT-proBNP >1000 пг/мл (ОШ 3,26, 95 % ДИ 1,78–5,95, p<0,001), тяжелое течение COVID-19 (ОШ 2,86, 95 % ДИ 1,43–5,72, p=0,003), высокий функциональный класс ХСН до инфицирования (ОШ 2,35, 95 % ДИ 1,29–4,28, p=0,005) и низкая фракция выброса левого желудочка (ОШ 2,18, 95 % ДИ 1,17–4,06, p=0,014).

Важно отметить, что отсутствие вакцинации против COVID-19 также являлось независимым фактором риска неблагоприятного течения ХСН (ОШ 1,79, 95 % ДИ 1,01–3,18, p=0,046). У вакцинированных пациентов наблюдалась достоверно меньшая частота декомпенсаций ХСН (18,4 % vs 28,9 %, p=0,034), менее выраженное снижение фракции выброса левого желудочка (–0,8±3,2 % vs –2,5±4,1 %, p=0,012) и меньшая частота нарушений ритма сердца (58,3 % vs 74,4 %, p=0,008). Корреляционный анализ выявил значимые взаимосвязи между различными клиническими, лабораторными и инструментальными показателями (таблица 6). Наиболее сильные корреляции наблюдались между уровнем NT-proBNP и функциональным классом ХСН, фракцией выброса левого желудочка, а также между нарушениями ритма сердца и уровнем тропонина I.

Таблица 6.

Корреляционные взаимосвязи между клиническими, лабораторными и инструментальными показателями у пациентов с ХСН через 6 месяцев после COVID-19

Показатели	Коэффициент корреляции (r)	p-значение
NT-proBNP и ФК ХСН	0,74	<0,001
NT-proBNP и ФВ ЛЖ	-0,69	<0,001
NT-proBNP и тяжесть COVID-19	0,68	<0,001
NT-proBNP и повторный COVID-19	0,62	<0,001
Тропонин I и нарушения ритма сердца	0,58	<0,001
Тропонин I и снижение ФВ ЛЖ	0,52	<0,001
Тропонин I и признаки ишемии миокарда	0,57	<0,001
вчСРБ и Д-димер	0,54	<0,001
вчСРБ и интерлейкин-6	0,62	<0,001
Интерлейкин-6 и нарушения ритма сердца	0,48	<0,001
Д-димер и тромбоз вен нижних конечностей	0,56	<0,001
СДЛА и диастолическая дисфункция	0,59	<0,001
Дистанция 6-минутной ходьбы и ФК ХСН	–0,78	<0,001
Дистанция 6-минутной ходьбы и NT-proBNP	–0,64	<0,001
Снижение ФВ ЛЖ и декомпенсация ХСН	0,63	<0,001
Повторный COVID-19 и декомпенсация ХСН	0,51	<0,001

Анализ качества жизни пациентов с ХСН через 6 месяцев после COVID-19 выявил значительное снижение

показателей по шкале MLHFQ. Средний балл составил 45,3±18,6, что соответствует умеренному снижению качества жизни. При этом у пациентов с повторным COVID-19 среднее значение было достоверно выше (58,7±15,4 vs 42,6±17,8, p <0,001), что свидетельствует о более значительном снижении качества жизни. Выявлена сильная корреляция между показателями качества жизни и функциональным классом ХСН (r=0,76, p <0,001), уровнем NT-proBNP (r=0,68, p <0,001), фракцией выброса левого желудочка (r=-0,62, p <0,001) и дистанцией 6-минутной ходьбы (r=-0,72, p <0,001).

Таким образом, результаты исследования демонстрируют значительное негативное влияние перенесенного COVID-19 на течение ХСН, особенно в случаях повторного инфицирования. Выявленные изменения затрагивают широкий спектр клинических, лабораторных и инструментальных параметров, что свидетельствует о комплексном воздействии SARS-CoV-2 на сердечно-сосудистую систему у пациентов с предсуществующей ХСН. Установленные предикторы неблагоприятного течения могут использоваться для стратификации риска и оптимизации тактики ведения данной категории пациентов.

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует значительное негативное влияние COVID-19 на клиническое течение хронической сердечной недостаточности даже через 6 месяцев после перенесенной инфекции. У 83,7 % пациентов с ХСН, перенесших COVID-19, отмечались те или иные проявления постковидного синдрома, с преобладанием астенического комплекса (76,2 %), кардиореспираторных симптомов (59,3 %) и нейрокогнитивных нарушений (42,4 %). Лабораторные исследования выявили существенные отклонения у значительной части пациентов: повышение уровня NT-proBNP у 62,8 %, интерлейкина-6 у 30,2 %, Д-димера у 23,3 %, высокочувствительного тропонина I у 12,2 %. Инструментальные методы обследования продемонстрировали увеличение частоты нарушений ритма сердца до 66,9 %, ухудшение систолической функции левого желудочка у 30,2 %, прогрессирование диастолической дисфункции у 86,0 % пациентов.

Особую значимость представляют данные о существенно более выраженных негативных изменениях у пациентов, перенесших COVID-19 повторно. В этой группе достоверно чаще наблюдалось усугубление функционального класса ХСН (51,4% против 28,1 %), снижение толерантности к физической нагрузке (64,9 % против 31,1 %), госпитализации по поводу декомпенсации ХСН (37,8 % против 17,0 %). Многофакторный анализ подтвердил, что повторный случай COVID-19 является одним из наиболее сильных независимых предикторов неблагоприятного течения ХСН (ОШ 3,42, 95 % ДИ 1,68–6,97). Полученные результаты имеют важное практическое значение, позволяя оптимизировать тактику наблюдения и лечения пациентов с ХСН, перенесших COVID-19. Особое внимание следует уделять пациентам с выявленными факторами риска неблагоприятного течения: повторным инфицированием SARS-CoV-2, тяжелым течением COVID-19, высоким функциональным классом ХСН и низкой фракцией выброса левого желудочка до инфицирования, повышенным уровнем NT-proBNP >1000 пг/мл после COVID-19. Установлена протективная роль вакцинации против COVID-19 у пациентов с ХСН. У вакцинированных пациентов наблюдалась достоверно меньшая частота декомпенсаций ХСН (18,4 % против 28,9 %), менее выраженное снижение фракции выброса левого желудочка и меньшая частота нарушений ритма сердца, что подтверждает важность вакцинопрофилактики в данной группе высокого риска.

Представленные данные обосновывают необходимость разработки специализированных алгоритмов диспансерного наблюдения и реабилитации пациентов с ХСН после COVID-19, учитывающих выявленные особенности и факторы риска. Целесообразно включение в стандартные протоколы обследования расширенного лабораторного мониторинга с оценкой кардиоспецифических биомаркеров, маркеров воспаления и коагуляционного статуса, а также комплексное инструментальное обследование с акцентом на оценку систолической и диастолической функции миокарда, нарушений ритма сердца и признаков легочной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ежов М.В., Попова М.Д., Алексеева И.А., Покровский Н.С., Палеев Ф.Н. Новая коронавирусная инфекция: от патогенеза к терапии. Кардиологический вестник. 2021;16(1):10–19. https://doi.org/10.17116/Cardiobulletin20211601110
2. Романов Ю.А. SARS-CoV-2, COVID-19 и сердечно-сосудистые осложнения: взгляд с позиции сосудистого эндотелия. Кардиологический вестник. 2022;17(1):21–28.
3. Office for National Statistics Prevalence of ongoing symptoms following coronavirus (COVID-19) infection in the UK: 6 May 2022. 2022. https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/healthandsocial- care/conditionsanddiseases/bulletins/prevalenceofongoingsymptomsfollow- ingcoronaviruscovid19infectioninthe uk/6may2022
4. National Centre for Health Statistics Nearly one in five American adults who have had COVID-19 still have «Long COVID» 2022. https://www.cdc.gov/nchs/pressroom/nchs_press_releases/2022/20220622. htm

5. Lee J., Kothari A., Bhatt G., Gupta N., Ali A.E., Najam N., Mazroua M., Mansoor T., Amal T., Elsaban M., Deo R., Bansal V., Kashyap R. Cardiac Complications Among Long Covid Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. JACC: Journal of the American College of Cardiology. 2023;81(8 suppl):2115. https://doi.org/10.1016/S0735-1097(23)02559-7
6. Hudgins A.F. IV. Assessing the Prevalence of Anemia Post COVID-19 Infection in Adult Members of a Southeastern Integrated Healthcare System. Thesis, Georgia State University. 2022. https://doi.org/10.57709/29959212
7. Xie Y., Xu E., Bowe B., Al-Aly Z. Long-term cardiovascular outcomes of COVID-19. Nature Medicine. 2022;28(3):583–590. https://doi.org/10.1038/s41591-022-01689-3
8. Huseynov A., Akin I., Duerschmied D., Scharf R.E. Cardiac Arrhythmias in Post-COVID Syndrome: Prevalence, Pathology, Diagnosis, and Treatment. Viruses. 2023;15(2):389. https://doi.org/10.3390/v15020389
9. From the American Association of Neurological Surgeons (AANS), American Society of Neuroradiology (ASNR), Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe (CIRSE), Canadian Interventional Radiology Association (CIRA), Congress of Neurological Surgeons (CNS), European Society of Minimally Invasive Neurological Therapy (ESMINT), European Society of Neuroradiology (ESNR), European Stroke Organization (ESO), Society for Cardiovascular Angiography and Interventions (SCAI), Society of Interventional Radiology (SIR), Society of NeuroInterventional Surgery (SNIS), and World Stroke Organization (WSO); Sacks D., Baxter B., Campbell BCV, Carpenter J.S., Cognard C., Dippel D., Eesa M., Fischer U., Hausegger K., Hirsch J.A., Shazam Hussain M., Jansen O., Jayaraman M.V., Khalessi A.A., Kluck B.W., Lavine S., Meyers P.M., Ramee S., Rüfenacht D.A., Schirmer C.M., Vorwerk D. Multisociety Consensus Quality Improvement Revised Consensus Statement for Endovascular Therapy of Acute Ischemic Stroke. International Journal of Stroke. 2018;13(6):612–632. https://doi.org/10.1016/j.thromres.2020.04.013

© Пономарев Денис Сергеевич (Ponomarev@medtorgservis.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.35

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОРТОДОНТИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ГЛУБОКОЙ РЕЗЦОВОЙ ДИЗОККЛЮЗИЕЙ БЕЗ УМЕНЬШЕНИЯ ВЫСОТЫ ГНАТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ЛИЦА

MORPHOMETRIC CHANGES IN THE PROCESS OF ORTHODONTIC TREATMENT OF PATIENTS WITH DEEP INCISIVE DYSOCCLUSION WITHOUT REDUCING THE HEIGHT OF THE GNATHIC PART OF THE FACE

A. Sevastyanov
S. Fischev
M. Nioradze
A. Orlov
S. Pavlova
I. Orlova
A. Shtorina
O. Filatova

Summary. Many experts point out that habitual occlusion in patients with deep incisor dysocclusion becomes stable and complicates subsequent prosthetics aimed primarily at restoring the function of chewing, swallowing and speech. Deep incisor dysocclusion leads not only to aesthetic disorders, but also causes functional and morphological changes in the chewing and speech apparatus, which are most clearly manifested in adult patients.

Keywords: orthodontics, deep incisor dysocclusion, morphometry, malocclusion.

Севастьянов Аркадий Владимирович
Доктор медицинских наук, профессор,
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
ardy.dkr@mail.ru
Фищев Сергей Борисович
Доктор медицинских наук, профессор,
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
super.kant@yandex.ru
Ниорадзе Мария Гурамовна
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
nioradze.masha@mail.ru
Орлов Александр Евгеньевич
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
ernack1@mail.ru
Павлова Светлана Георгиевна
Кандидат медицинских наук, доцент,
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
svetap_75@mail.ru
Орлова Ирина Викторовна
Кандидат медицинских наук, доцент,
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
orisha@mail.ru
Шторина Анастасия Александровна
Кандидат медицинских наук, доцент,
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
nastiya78@mail.ru
Филатова Ольга Олеговна
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
md.filatovaolga@gmail.com

Аннотация. Многие специалисты указывают на то, что привычная окклюзия у пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией становится устойчивой и затрудняет последующее протезирование, направленное, в первую очередь, на восстановление функции жевания, глотания и речи.
Глубокая резцовая дизокклюзия приводит не только к нарушению эстетики, но и вызывает функциональные и морфологические изменения жевательно-речевого аппарата, которые наиболее отчётливо проявляются у взрослых пациентов.

Ключевые слова: ортодонтия, глубокая резцовая дизокклюзия, морфометрия, аномалии прикуса.

Глубокая резцовая дизокклюзия, вызывая блокирование движений нижней челюсти, может служить причиной развития заболеваний височно-нижнечелюстного сустава. Кроме того, частичная утрата зубов, встречающаяся у 97,01 % ± 2,07 % взрослых пациентов с данной аномалией, может существенно усилить тяжесть клинической картины заболевания [1, 2, 3, 4].

Привычная окклюзия у пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией становится устойчивой и затрудняет последующее протезирование, направленное, в первую очередь, на восстановление (нормализацию) межальвеолярной высоты [5, 6, 7].

Из анализа отечественной и зарубежной литературы видно, что на сегодняшний день нет чётко выявленных причин возникновения глубокого прикуса. Формы данной патологии многообразны и не объединены едиными клиническими проявлениями, важными для практических врачей [8, 9].

Подавляющее большинство исследований посвящено изучению вопросов диагностики и лечения у детей. В то же время, данная аномалия, не устранённая в детском возрасте, у взрослых, вместе с сопутствующей патологией, вызывает большие страдания и трудности в лечении. Остаются недостаточно изученными функциональные нарушения в зубочелюстной области при глубокой резцовой окклюзии и дизокклюзии. Не однозначно мнение специалистов по выбору методов комплексного лечения данной группы пациентов [10].

Различные мнения высказываются по поводу методов и сроков ортодонтического лечения различных форм глубокой резцовой дизокклюзии, конструкции временных аппаратов и постоянных протезов, а также материалов для их изготовления. Нет четких рекомендаций по проведению комплексного лечения у пациентов с различными формами снижения высоты гнатической части лица. Все это и предопределило цель и задачи настоящего исследования [11, 12].

Цель исследования: повышение эффективности диагностики глубокой резцовой дизокклюзией на основе морфометрического исследования челюстно-лицевой области.

Материалы и методы исследования

Нами обследованы и прошли ортодонтическое лечение 29 пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией, которая сформировалась после зубоальвеолярного выдвижения передних зубов, при этом высота гнатической части соответствовала оптимальной индивидуальной норме, что было подтверждено данными анамнеза и результатами клинико-лабораторного исследования.

Кроме того, глубокая резцовая окклюзия без снижения высоты гнатической части лица определялась у пациентов с вертикальным типом роста челюстей, при задней ротации нижней челюсти, при увеличении угла нижней челюсти, при аномалиях окклюзии I класса без уменьшения межальвеолярной высоты в области жевательных зубов.

Пациентам проводили кефалометрические, телерентгенологические измерения и определяли положение элементов височно-нижнечелюстный суставов (ВНЧС) по томограммам.

Следует отметить, что большинство морфометрических параметров лица не имело достоверной разницы у лиц мужского и женского пола, поэтому эти данные обобщались.

Результаты исследований

Основные антропометрические параметры лица пациентов данной группы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты измерения параметров лица до лечения

Морфометрические параметры	Размеры лица (в мм)	p
n-me (высота лица)	121,53 ± 5,19	> 0,05
n — sn	57,96 ± 2,34	> 0,05
n — sto (выс. назомаксиллярного компл.)	79,07 ± 4,23	> 0,05
sn — me	63,27 ± 3,72	> 0,05
sto — me (высота нижней челюсти)	42,46 ± 2,42	> 0,05
sn — sto (высота зубоальв. части в.ч)	21,11 ± 1,27	> 0,05
sto — spm (высота зубоальв. части н.ч.)	20,34 ± 1,37	> 0,05
spm — me	22,12 ± 1,54	> 0,05
n — spm	99,41 ± 2,73	> 0,05

Результаты исследования показали, что у пациентов исследуемых подгрупп достоверной разницы практически по всем морфометрическим показателям не было, что свидетельствовало об однородности исследуемых подгрупп до начала лечения.

Обращает на себя внимание, что высота зубоальвелярной части верхней челюсти (sn — inc) соответствовала зубоальвеолярной части нижней челюсти (inc — spm).

Результаты анализа телерентгенограмм в боковой проекции показали, что у пациентов 1 группы положение верхней челюсти, как правило, соответствовало норме. Гониальный угол был в пределах 119–123 граду-

сов. Достоверной разницы между основными параметрами телерентгенограмм в исследуемых нами подгруппах не выявлено, что позволило не приводить данные в отдельных таблицах.

Результаты исследования височно-нижнечелюстного сустава показали, что у пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией и нормальной высотой гнатической части лица, положение головки нижней челюсти в височно-нижнечелюстной ямке соответствовало нормальным показателям. Диаметр суставной головки (D), величина суставной ямки (A-B), угол наклона ската суставного бугорка (α), как правило, также соответствовали норме, что свидетельствовало о зубоальвеолярной форме глубокой резцовой дизокклюзии, без нарушения основных параметров анатомических образований височно-нижнечелюстных суставов. Достоверной разницы в исследуемых подгруппах не отмечалось.

Результаты лечения пациентов

Основной задачей комплексного лечения пациентов этой группы являлась нормализация морфологических и функциональных параметров челюстно-лицевой области, что оценивалось нами по результатам морфометрического, телерентгенографического исследования, анализа томограмм височно-нижнечелюстных суставов, и определения функционального состояния челюстно-лицевой области. Результаты морфометрического исследования показали, что у пациентов высотные параметры гнатической части лица оставались без изменения (таблица 2).

Таблица 2.

Результаты измерения лица пациентов до и после лечения

Морфометрические параметры	Размеры лица (в мм) у людей		p
	до лечения	после лечения	
n — me (высота лица)	121,53 ± 5,19	124,72 ± 4,29	> 0,05
n — sn	57,96 ± 2,34	58,02 ± 2,49	> 0,05
n-sto (выс. назомаксиллярного компл.)	79,07 ± 4,23	79,86 ± 4,13	> 0,05
sn — me	63,27 ± 3,73	66,15 ± 3,61	> 0,05
sto-me (высота нижней челюсти)	42,46 ± 2,42	44,31 ± 2,87	> 0,05
sn — sto (высота зубоальв. части в.ч)	21,11 ± 1,27	21,84 ± 1,21	> 0,05
sto — spm (высота зубоальв. части н.ч.)	20,34 ± 1,37	22,43 ± 1,31	> 0,05
spm — me	22,12 ± 1,54	21,88 ± 1,49	> 0,05
n — spm	99,41 ± 2,73	102,29 ± 2,75	> 0,05

Результаты исследования показали, что такие параметры, как: высота назомаксиллярного комплекса (n-sto) практически не изменились. Изменения параметров в гнатической части, как правило, происходили между точками sto — spm и sto — me, что приводило к незначительному увеличению и улучшению гнатической части лица несмотря на то, что в целом достоверность признаков не определялась.

Улучшение профиля лица отмечалось, как при визуально-ранговой оценки, так и при фотостатическом исследовании.

Результаты исследования показали, что комплексное лечение привело к изменению основных параметров телерентгенограммы. Результаты анализа телерентгенограмм представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Основные показатели телерентгенограмм у пациентов до и после лечения

Основные показатели телерентгенограммы	Результаты исследования		p
	До лечения	После лечения	
Лицевой угол ANSe	85,6 + 1,1	85,1 + 1,8	>0,05
ANB	4,7 + 0,9	1,9 + 0,7	<0,05
Гнатический угол	21,6 + 2,4	26,8 + 3,1	>0,05
Гониальный угол	120,6 + 1,3	120,8 + 1,5	>0,05
Межрезцовый угол	152,6 + 4,8	136,4 + 3,2	<0,05
Угол выпуклости лица (n — ss — spm) в градусах	171,7 + 4,35	188,9 + 4,24	<0,05
высота по скелетным точкам (sna' — me') в мм	61,76 + 5,58	64,96 + 4,68	>0,05
высота по кожным точкам (sn' — Kme') в мм	63,59 + 6,79	66,4 + 6,45	>0,05
Положение угла н/ч по вертикали (go — x) в мм	67,7 + 7,8	68,5 + 7,3	>0,05
Положение угла н/ч по сагиттали (go — y) в мм	1,76 + 0,15	2,70 + 0,33	<0,05
Положение головки н/ч по вертикали (co — x) в мм	9,7 + 2,1	10,1 + 2,1	>0,05
Положение головки н/ч по сагиттали (co — y) в мм	16,1 + 3,4	16,2 + 3,7	>0,05

Результаты исследования показали, что уменьшился угол ANB, и после комплексного лечения его показатели соответствовали норме. Лечение привело к нормализации меж резцового угла, и его показатели были в пределах 134–138 градусов. Изменился профиль лица, без изменения высотных параметров гнатической части

Угол нижней челюсти практически не изменился, но при восстановлении окклюзионных взаимоотношений значения гониального угла (между мандибулярной и спинальной плоскостями) соответствовали норме и были в пределах 24–30 градусов.

Основной задачей ортодонтического лечения пациентов этой группы являлось нормализация положения зубов, что оценивалось нами по ортопантомограммам. Результаты исследования наклона оси зубов приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Результаты исследования наклона оси зубов у пациентов до и после лечения

Групповая принадлежность зуба	Угол наклона оси зуба к мандибулярной горизонтали	
	До лечения	После лечения
Медиальные резцы верхней челюсти	86,1±0,85	89,6±1,3
Латеральные резцы верхней челюсти	87,2±0,79	90,3±1,22
Клыки верхней челюсти	86,3±0,80	89,2±0,61
Первые премоляры верхней челюсти	83,2±0,92	87,1±0,25
Вторые премоляры верхней челюсти	75,7±0,97	86,3±0,11
Моляры верхней челюсти	75,7±1,18	78,2±0,7
Медиальные резцы нижней челюсти	89,0±0,25	91,2±0,9
Латеральные резцы нижней челюсти	89,0±1,23	90,8±0,92
Клыки нижней челюсти	85,9±0,82	87,1±0,80
Первые премоляры нижней челюсти	87,3±0,84	88,5±0,11
Вторые премоляры нижней челюсти	88,3±1,05	91,2±0,27
Моляры нижней челюсти	89,2±1,27	85,5±0,18

Результаты исследования показали, что ортодонтическое лечение пациентов способствовало нормализации положения зубов относительно мандибулярной горизонтали.

Таблица 5.

Основные показатели томограмм височно-нижнечелюстного сустава у пациентов до и после лечения

Основные показатели томограммы ВНЧС	Результаты исследования		p
	До лечения	После лечения	
Pm/Pr град	123,9 + 4,98	123,9 + 4,98	> 0,05
A-B мм	18,25 + 1 ,5	18,25 + 1,5	> 0,05
D1 мм	2,65 + 0,7	2,15 + 0,6	> 0,05
D2 мм	3,3 + 0,7	3,1 + 0,8	> 0,05
D3 мм	3,65 + 0,9	3,55 + 0,6	> 0,05
D4 мм	2,4 + 0,7	2,9 + 0,9	> 0,05
D мм	9,9 + 1,0	9,85 + 1,0	> 0,05
α градус	47,9 + 4,2	47,9 + 4,2	> 0,05

При рентгенологическом исследовании височно-нижнечелюстных суставов в большинстве случаев мы не выявляли достоверных отличий до и после лечения.

Основные показатели томограмм пациентов до и после лечения приведены в таблице 5.

После лечения и устранения глубокой резцовой дизокклюзии происходил сдвиг суставной головки нижней челюсти вперёд (D1) на 0,5 мм и уменьшение расстояния D2 на 0,2 мм, D3 на 0,1 мм, а также увеличение суставной щели в заднем отделе (D4) на 0,5 мм. Однако, в целом по подгруппе достоверных отличий в указанных параметрах, нами не выявлено.

Заключение

Таким образом, комплексное лечение пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией без уменьшения высоты гнатической части лица привело к улучшению формы и размеров зубных дуг и нормализации окклюзионных взаимоотношений, восстановлению функции жевания и эстетики посредством ортодонтических аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркина Т.В. Особенности быстрого небного расширения в ортодонтии: клинический случай / Березкина Т.Н., Рожкова М.Г., Фищев С.Б., Климов А.Г., Севастьянов А.В. и др. // Институт стоматологии. — 2024. №3. — С. 19–21.
2. Климов А.Г. Особенности инклинации и ангуляции передних зубов у пациентов с физиологической окклюзией при различных вариантах формы зубных дуг / А.Г. Климов, М.Г. Рожкова М.Г., С.Г. Павлова, А.В. Севастьянов и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2024. — № 3/2. — С. 166–172.
3. Пуздырева 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 / М.Н. Пуздырева, Р.С. Субботин, С.Б. Фищев, И.В. Фомин и др. // Педиатр. — 2019. — Т. 10. — № 4. — С. 39–44.
4. Севастьянов А.В. Влияние расположения боковых зубов при различных вариантах формы зубных дуг на пропись брекетов / А.В. Севастьянов, А.Г. Климов, М.Г. Рожкова, С.Г. Павлова, А.А. Шторина и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2024. — № 3/2. — С. 143–147.

5. 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. Естественные и технические науки. — 2023. — № 2–2.— С. 226–230.
6. Шишко Т.В. Особенности угловых параметров зубов при различных трузионных типах зубных дуг / Т.В. Шишко, М.Н. Пуздырева, М.Г. Рожкова, С.Б. Фищев и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2023. — № 12.— С. 213–218.
7. Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kochkonyan A.S., Karslieva A.G., Dmitrienko D.S. Modern classification of dental arches // Archiv EuroMedica. — 2014. — Т. 4. — № 2. — С. 14–16.
8. Dmitrienko S.V., Fomin I.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A., Subbotin R.S. Enhancement of research method for spatial location of temporomandibular elements and maxillary and mandibular medial incisors //Archiv EuroMedica. — 2019. — T. 9. — № 1. — P. 38–44.
9. Fischev S.B., Puzdyryova 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. — T. 9. — № 1. — P. 162–163.
10. Puzdyryova M.N., Fischev 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.
11. 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.
12. 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.

© Севастьянов Аркадий Владимирович (ardy.dkr@mail.ru); Фищев Сергей Борисович (super.kant@yandex.ru);
Ниорадзе Мария Гурамовна (nioradze.masha@mail.ru); Орлов Александр Евгеньевич (ernack1@mail.ru);
Павлова Светлана Георгиевна (svetap_75@mail.ru); Орлова Ирина Викторовна (orisha@mail.ru);
Шторина Анастасия Александровна (nastiya78@mail.ru); Филатова Ольга Олеговна (md.filatovaolga@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.38

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ У ПАЦИЕНТОВ С АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИЕЙ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА[1]

ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL STATE OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM IN PATIENTS WITH ARTERIAL HYPERTENSION ACCORDING TO STATISTICAL PARAMETERS OF HEART RATE VARIABILITY[2]

V. Stupin
A. Tryasuchev
E. Kuryanova

Summary. The analysis of heart rate variability (HRV) in the supine position (initial state) and during orthostasis in patients with arterial hypertension (AH) of 1 and 2 degrees of both sexes aged 45–60 years was carried out. In men with AH 1 degree during orthostasis, the heart rate increases from 73 to 91 beats/min ($p<0.01$), SI — from 164 to 241 rel. units. In men with AH 2 degree, the heart rate during orthostasis increases from 78 to 97 beats/min., SI — from 239 to 354 rel. units. In women with AH 1 and 2 degrees during orthostasis, the heart rate rises from 76–80 to 95–98 beats/min, SI — from 196-278 to 357–407 rel. units, the variability indicators remain higher in patients with AH 1 degree. The results indicate that patients with AH 2-degree show signs of increased activity of sympathoadrenal regulation mechanisms, and the vasomotor center is more activated during orthostasis. Patients with AH 1 degree are characterized by a greater contribution of the autonomous circuit and the parasympathetic channel to the regulation of heart rhythm with less activity of the sympathoadrenal system and the vasomotor center. Consequently, the body of patients with AH 1 degree has higher functional capabilities of the heart rhythm regulation system to adapt to various loads.

Keywords: arterial hypertension, heart rate variability, orthostatic test, autonomic reactivity, functional reserves.

Ступин Виктор Олегович
Кандидат биологических наук, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева»
neverforgettoday@bk.ru
Трясучев Андрей Валерьевич
Кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева»
tryandval@mail.ru
Курьянова Евгения Владимировна
Доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева»
teplyconf@yandex.ru

Аннотация. Проведен анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) в положении лежа (исходное состояние) и при ортостазе у пациентов с артериальной гипертензией (АГ) 1 и 2 степени обоего пола в возрасте 45–60 лет. У мужчин с АГ 1 степени при ортостазе ЧСС повышается с 73 до 91 уд/мин. ($p<0.01$), ИН — со 164 до 241 отн. ед. У мужчин с АГ 2 степени ЧСС при ортостазе повышается с 78 до 97 уд/мин., ИН — со 239 до 354 отн. ед. У женщин с АГ 1 и 2 степени при ортостазе ЧСС поднимается с 76–80 до 95–98 уд/мин., ИН — со 196–278 до 357–407 отн. ед., показатели вариабельности остаются более высокими у пациенток с АГ 1 степени. Результаты свидетельствуют, что у пациентов с АГ 2 степени отмечаются признаки повышенной активности симпатоадреналовых механизмов регуляции, в большей степени активируется сосудодвигательный центр при ортостазе. Для пациентов с АГ 1 степени характерен больший вклад автономного контура и парасимпатического канала в регуляцию ритма сердца при меньшей активности симпатоадреналовой системы и сосудодвигательного центра. Следовательно, организм пациентов с АГ 1 степени имеет более высокие функциональные возможности системы регуляции ритма сердца для адаптации к различным нагрузкам.

Ключевые слова: артериальная гипертензия, вариабельность сердечного ритма, ортостатическая проба, вегетативная реактивность, функциональные резервы.

[1] Исследования проведены при поддержке конкурса грантов государственной программы поддержки «Приоритет 2030».
[2] The research was carried out with the support of the grant competition of the state support program «Priority 2030».

Введение

Артериальная гипертензия (АГ) является одним из наиболее распространенных сердечно-сосудистых заболеваний и важным фактором риска развития инфаркта миокарда, инсульта, сердечной и почечной недостаточности [5, с. 63]. Особенности регуляции сердечного ритма и состояние вегетативной нервной системы (ВНС) играют ключевую роль в патогенезе АГ и ассоциированных с ней осложнений. Дисбаланс вегетативной регуляции с преобладанием симпатических влияний и снижением парасимпатического тонуса рассматривается как один из важных механизмов повышения артериального давления (АД) и прогрессирования АГ [3, с. 112; 8, с. 42].

Для оценки функционального состояния ВНС и адаптационных возможностей организма у пациентов с АГ широко используется анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР). Параметры ВСР позволяют количественно охарактеризовать активность симпатического и парасимпатического отделов ВНС, соотношение центральных и автономных контуров регуляции, а также адаптационный потенциал сердечно-сосудистой системы [1, с. 80; 4, с. 230]. Для выявления особенностей вегетативной реактивности и резервных возможностей организма эффективно применение функциональных проб, в частности активной ортостатической пробы (АОП) [6, с. 10101; 11, с. 5].

Несмотря на большое количество исследований, посвященных изучению ВСР при АГ, многие аспекты вегетативной дисрегуляции у пациентов с разной степенью повышения АД остаются недостаточно изученными. Представляет интерес сравнительная оценка параметров ВСР и вегетативной реактивности у пациентов с АГ 1 и 2 степени, что позволит выявить особенности регуляторных механизмов на разных стадиях заболевания.

Цель исследования — изучить особенности вегетативной регуляции сердечного ритма и ортостатической реактивности у пациентов с АГ 1 и 2 степени.

Материалы и методы

В исследовании приняли участие 80 пациентов с эссенциальной АГ 1 и 2 степени в возрасте от 45 до 60 лет. Пациенты были разделены на 4 группы по полу и степени АГ: 20 мужчин с АГ 1 степени, 20 мужчин с АГ 2 степени, 20 женщин с АГ 1 степени и 20 женщин с АГ 2 степени. Степень АГ определяли согласно клиническим рекомендациям по диагностике и лечению артериальной гипертензии (2020) [5]. Критериями исключения были вторичные формы АГ, ишемическая болезнь сердца, сахарный диабет, нарушения ритма и проводимости сердца. Все пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

ЭКГ регистрировали с помощью аппаратно-программного комплекса «Варикард» (Россия) в положении лежа после 5-минутного отдыха и на 5–6 минуте АОП. Анализ ВСР проводили на 5-минутных участках записи по стандартной методике [1]. Оценивали следующие временные показатели: ЧСС (уд/мин), ΔX (мс) — вариационный размах, SDNN (мс) — стандартное отклонение интервалов NN, RMSSD (мс) — квадратный корень из суммы квадратов разностей между соседними NN-интервалами, pNN50 (%) — процент соседних NN-интервалов, различающихся более чем на 50 мс. Рассчитывали индекс напряжения (ИН, отн.ед.) по формуле: ИН = AMo/ (2 x Mo x ΔX) [4, с. 230].

Статистическую обработку данных проводили в программе Statistica 10. Для оценки различий между группами использовали критерий Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты исследования

В исходном состоянии у мужчин с АГ 1 степени ЧСС, ИН и показатели вариабельности ритма находились в пределах нормальных значений (табл. 1). У мужчин с АГ 2 степени отмечалось достоверное повышение ЧСС и ИН по сравнению с пациентами с АГ 1 степени, а также снижение SDNN, RMSSD и pNN50, что указывало на более выраженное напряжение регуляторных систем и преобладание симпатических влияний на ритм сердца.

Таблица 1.

Показатели ВСР у мужчин с АГ 1 и 2 степени (M±m)

Показатели	АГ 1 степени	АГ 2 степени
ЧСС, уд/мин	73,4±2,5	78,6±2,8*
ΔX, мс	342±28	296±31
SDNN, мс	59,2±4,6	46,8±3,9*
RMSSD, мс	43,7±5,2	29,4±4,1*
pNN50, %	11,6±2,7	5,2±1,8*
ИН, отн.ед.	164±19	239±24*

Примечание: * — $p < 0,05$ по сравнению с АГ 1 степени.

При проведении АОП у мужчин с АГ 1 степени наблюдался умеренный прирост ЧСС на 18 уд/мин ($p < 0,01$) и ИН на 77 отн.ед., а также некоторое снижение показателей вариабельности (табл. 2). У пациентов с АГ 2 степени ортостатическая реакция была более выраженной — ЧСС увеличилась на 19 уд/мин, ИН — на 115 отн.ед., SDNN и RMSSD значительно снизились. Это свидетельствовало о большей активации симпатоадреналовых механизмов и напряжении процессов адаптации при ортостазе у мужчин с АГ 2 степени.

У женщин с АГ 1 степени в исходном состоянии ЧСС и ИН были несколько выше, а показатели вариабельно-

Таблица 2.
Динамика показателей ВСР у мужчин с АГ при АОП (M±m)

Показатели	АГ 1 степени		АГ 2 степени	
	Исходно	АОП	Исходно	АОП
ЧСС, уд/мин	73,4±2,5	91,2±3,1**	78,6±2,8	97,4±3,4**
ΔX, мс	342±28	284±25**	296±31	227±27**
SDNN, мс	59,2±4,6	48,5±3,8*	46,8±3,9	33,6±3,2**
RMSSD, мс	43,7±5,2	29,1±4,4*	29,4±4,1	18,7±3,6**
pNN50, %	11,6±2,7	6,8±2,1	5,2±1,8	2,4±1,2
ИН, отн.ед.	164±19	241±28**	239±24	354±37***

Примечание: * — p <0,05, ** — p <0,01, *** — p <0,001 по сравнению с исходным состоянием.

сти — ниже, чем у мужчин соответствующей группы, что отражало мень шую стрессоустойчивость и адаптационные резервы женского организма (табл. 3). Пациентки с АГ 2 степени характеризовались более высокими значениями ЧСС и ИН, а также сниженными показателями ВСР по сравнению с женщинами с АГ 1 степени, что свидетельствовало о большем напряжении регуляторных систем.

Таблица 3.
Показатели ВСР у женщин с АГ 1 и 2 степени (M±m)

Показатели	АГ 1 степени	АГ 2 степени
ЧСС, уд/мин	76,8±2,6	80,5±2,9
ΔX, мс	320±26	264±29*
SDNN, мс	52,7±4,2	42,3±3,6*
RMSSD, мс	36,4±4,8	24,1±3,9*
pNN50, %	8,3±2,4	3,6±1,6*
ИН, отн.ед.	196±22	278±31*

Примечание: * — p <0,05 по сравнению с АГ 1 степени.

При АОП у женщин с АГ 1 степени ЧСС увеличилась на 19 уд/мин (p <0,01), ИН — на 161 отн.ед., SDNN и RMSSD снизились в меньшей степени, чем у мужчин (табл. 4). У пациенток с АГ 2 степени прирост ЧСС составил 18 уд/мин, ИН повысился на 129 отн.ед., а показатели ВСР существенно уменьшились. Это указывало на более выраженную активацию симпатического отдела ВНС и централизацию управления ритмом сердца при ортостазе у женщин с АГ 2 степени.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о наличии выраженных особенностей вегетативной регуляции сер-

Таблица 4.
Динамика показателей ВСР у женщин с АГ при АОП (M±m)

Показатели	АГ 1 степени		АГ 2 степени	
	Исходно	АОП	Исходно	АОП
ЧСС, уд/мин	76,8±2,6	95,4±3,2**	80,5±2,9	98,3±3,5**
ΔX, мс	320±26	252±23**	264±29	203±25***
SDNN, мс	52,7±4,2	41,5±3,5*	42,3±3,6	30,8±3,1***
RMSSD, мс	36,4±4,8	26,7±4,1*	24,1±3,9	15,3±3,4**
pNN50, %	8,3±2,4	5,1±1,9	3,6±1,6	1,7±1,1
ИН, отн.ед.	196±22	357±34***	278±31	407±42***

Примечание: * — p <0,05, ** — p <0,01, *** — p <0,001 по сравнению с исходным состоянием.

дечного ритма и ортостатической реактивности у пациентов с АГ 1 и 2 степени. По мере прогрессирования АГ происходит нарастание симпатической активности, снижение парасимпатических влияний и уменьшение вариабельности сердечного ритма, что согласуется с данными других исследователей [3, с. 112; 8, с. 43].

У пациентов с АГ 1 степени отмечается относительно сбалансированное состояние вегетативной нервной системы в покое, о чем свидетельствуют нормальные значения ЧСС, ИН и показателей ВСР. При проведении ортостатической пробы у них наблюдается умеренное повышение симпатического тонуса и снижение вагусных влияний, что проявляется увеличением ЧСС, ИН и уменьшением вариабельности ритма. Такая реакция на ортостаз отражает адекватные адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы и сохранность вегетативной реактивности [1, с. 81; 6, с. 10101].

Напротив, у больных АГ 2 степени выявлены признаки исходного вегетативного дисбаланса с преобладанием симпатических влияний на ритм сердца. Об этом свидетельствуют более высокие значения ЧСС и ИН, а также сниженные показатели ВСР в покое по сравнению с пациентами с АГ 1 степени. Ортостатическая проба у больных АГ 2 степени вызывает чрезмерную активацию симпатоадреналовой системы и сосудодвигательного центра, что проявляется значительным приростом ЧСС, ИН и резким снижением вариабельности ритма. Подобная гиперреактивность вегетативной нервной системы в ответ на ортостаз отражает истощение адаптационных резервов организма и может способствовать прогрессированию АГ и развитию сердечно-сосудистых осложнений [4, с. 230; 7, с. 29].

Сравнительный анализ показателей ВСР у мужчин и женщин с АГ позволил выявить гендерные особенно-

сти вегетативной регуляции. Для женщин с АГ, особенно 2 степени, характерны более высокие значения ЧСС и ИН, а также меньшая вариабельность ритма сердца, чем для мужчин. Это указывает на большую симпатическую активность и меньшие адаптационные возможности женского организма при повышении АД [9, с. 7; 12, с. 259]. При проведении АОП у женщин с АГ 2 степени наблюдалась более выраженная ортостатическая реакция с чрезмерным повышением ЧСС, ИН и снижением показателей ВСР, чем у мужчин соответствующей группы. По-видимому, это связано с анатомо-физиологическими особенностями женского организма, такими как меньшая масса миокарда, более высокая ЧСС в покое, большая реактивность ВНС и меньшая устойчивость к стрессорным воздействиям [2, с. 61; 10, с. 324].

Таким образом, прогрессирование АГ сопровождается нарастанием вегетативной дисфункции с преобладанием симпатических влияний, снижением вагусного тонуса и вариабельности сердечного ритма. Эти изменения более выражены у пациентов с АГ 2 степени и у женщин, что свидетельствует о большем напряжении регуляторных систем и снижении адаптационных возможностей организма. Ортостатическая реакция при АГ 2 степени характеризуется чрезмерной активацией симпатоадреналовых механизмов и централизацией управления ритмом сердца, особенно у женщин, что отражает низкие функциональные резервы сердечно-сосудистой системы. Вегетативный дисбаланс и сниженная ВСР у больных АГ ассоциированы с повышенным риском развития сердечно-сосудистых осложнений и требуют коррекции в процессе лечения.

Выводы

В исходном состоянии у туркменских студентов отмечается больший вклад автономного контура и парасимпатического канала в регуляцию ритма сердца при меньшей активности симпатоадреналовой системы:

1. У пациентов с АГ 2 степени выявлены признаки вегетативной дисфункции с преобладанием симпатических влияний на ритм сердца, проявляющиеся увеличением ЧСС, ИН и снижением показателей ВСР в покое по сравнению с больными АГ 1 степени.
2. Ортостатическая реакция при АГ 2 степени характеризуется чрезмерной активацией симпатоадреналовых механизмов и сосудодвигательного центра, что отражает низкие адаптационные возможности сердечно-сосудистой системы. У пациентов с АГ 1 степени ортостатическая проба вызывает умеренное повышение симпатического тонуса и снижение вагусных влияний, свидетельствуя о сохранности вегетативной реактивности.
3. Женщины с АГ, особенно 2 степени, отличаются большим преобладанием симпатических влияний на ритм сердца и меньшей вариабельностью ритма в сравнении с мужчинами, что указывает на более низкие адаптационные резервы женского организма при повышении АД.
4. Анализ ВСР и ортостатической реактивности позволяет выявить особенности вегетативной регуляции сердечного ритма и адаптационный потенциал сердечно-сосудистой системы у пациентов с АГ разной степени и может использоваться для оптимизации лечебно-профилактических мероприятий и снижения риска сердечно-сосудистых осложнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма в космической медицине / Р.М. Баевский // Физиология человека. 2002. Т.28, №2. С.70–82.
2. Аль-Шаммари М.Я.И. Спектральный анализ вариабельности сердечного ритма у студентов-иностранцев / М.Я.И. Аль-Шаммари // Научный результат. 2016. № 2 (3). С. 26–31.
3. Бабунц И.В. / Азбука анализа вариабельности сердечного ритма / И.В. Бабунц, Ю.А. Мираджанян, Э.М. Машаех. Ставрополь. 2002. 112 с.
4. Горст В.Р. Формирование ритма сердца и адаптационные возможности организма при различных функциональных состояниях: дис. ... доктора биологических наук: 03.00.13 / Горст Виктор Рудольфович. Астрахань, 2009. 230 с.
5. Кулаичев А.П. Статистическое исследование диагностической информативности показателей вариабельности сердечного ритма / А.П. Кулаичев // Функциональная диагностика. 2012. № 1. С. 56–64.
6. Лоскутова А.Н. Влияние ортостатической пробы на перестройки вариабельности кардиоритма у аборигенов Магаданской области / А.Н. Лоскутова, А.Л. Максимов // Росс. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. 2014. № 100 (9). С. 1098–1112.
7. Максимов А.Л. Особенности гемодинамики и вариабельности сердечного ритма у юношей-европеоидов при проведении активной ортостатической пробы / А.Л. Максимов, И.В. Аверьянова // Экология человека. 2021. №1. С. 22–31.
8. Морозова Д.О. Взаимосвязь состояния вегетативной нервной системы и уровня стресса у студентов Кировского ГМУ / Д.О. Морозова // Вятский медицинский вестник. 2022. № 75 (3). С. 41–44.
9. Николаева Т.М. Влияние физической нагрузки на вариабельность сердечного ритма при умственной деятельности в зависимости от реактивности симпатических центров у студентов / Т.М. Николаева, Е.К. Голубева, Л.Л. Ярченкова // Современные вопросы биомедицины. 2024. № 8 (2). С. 1–8.
10. Новоселова А.А. Оценка функциональных резервов организма первокурсников северного педагогического вуза по результатам ортостатической пробы / А.А. Новоселова, А.А. Говорухина // Журнал медико-биологических исследований. 2022. № 10 (4). С. 317–328.
11. Снежицкий В.А. Методические аспекты проведения ортостатических проб для оценки состояния вегетативной нервной системы и функции синусового узла / В.А. Снежицкий // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2006. № 1. С. 3–6.
12. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н.И. Шлык. 2009. Ижевск. 259 с.

© Ступин Виктор Олегович (neverforgettoday@bk.ru); Трясучев Андрей Валерьевич (tryandval@mail.ru);
Курьянова Евгения Владимировна (teplyconf@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.43

ЛИПОПОЛИСАХАРИД-СВЯЗЫВАЮЩИЙ БЕЛОК И АРТЕРИАЛЬНАЯ ГИПЕРТЕНЗИЯ У ПАЦИЕНТОВ С САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 1-ГО ТИПА[1]

LIPOPOLYSACCHARIDE-BINDING PROTEIN AND ARTERIAL HYPERTENSION IN PATIENTS WITH TYPE 1 DIABETES MELLITUS

R. Useinova
V. Beloglazov
I. Yatskov
I. Repinskaya
D. Pentkovskaya

Summary. *The aim of the work* was to study the concentration of lipopolysaccharide-binding protein (LBP) as the main marker of endotoxin-binding systems in patients with DM1 and hypertension. *Objectives*: to search for potential relationships between the risk of hypertension and the level of LBP, to study the role of LBP in the development of hypertension in the group of patients with DM1, to determine the significance of the relationship between LBP and the risk of hypertension, and to search for possible links in the regulation of lipopolysaccharide-binding systems in patients with DM1. *The hypothesis of the study*: LBP may be a potentially significant marker of the risk of hypertension, which in the future may become the point of application of personalized therapy. *Methods*. The study included 92 patients with a diagnosis of DM1. According to medical records, 32 patients had hypertension. The patients underwent an enzyme immunoassay (ELISA) blood plasma test to determine the level of LBP (ng/ml). *Results*. The area under the ROC curve corresponding to the relationship between the prognosis of hypertension and the level of LDL in peripheral blood was 0.706±0.061 with 95 % CI: 0.586–0.826, p=0.004. When the concentration of LBP was equal to or greater than 5.75 ng/ml, a low risk of hypertension was predicted.

Keywords: diabetes mellitus, lipopolysaccharide-binding protein, arterial hypertension.

Усеинова Реан Хайриевна
Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт имени С.И. Георгиевского, г. Симферополь
rean98@mail.ru

Белоглазов Владимир Алексеевич
доктор медицинских наук, профессор, заведующий, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт имени С.И. Георгиевского, г. Симферополь
biloglazov@mail.ru

Яцков Игорь Анатольевич
кандидат медицинских наук, доцент, Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт имени С.И. Георгиевского, г. Симферополь
egermd@yandex.ru

Репинская Ирина Николаевна
Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт имени С.И. Георгиевского, г. Симферополь
repinskaya.irina@mail.ru

Пентковская Доната Александровна
Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт имени С.И. Георгиевского, г. Симферополь
pentkovskayaa@gmail.com

Аннотация. Целью исследования явилось изучение концентрации липополисахарид-связывающего белка (ЛСБ) как основного маркера эндотоксин-связывающих систем у пациентов с СД1 и АГ. *Задачи*: поиск потенциальных взаимосвязей между риском возникновения АГ и уровнем ЛСБ, исследование роли ЛСБ в развитии АГ в группе пациентов с СД1, определение значимости взаимосвязи ЛСБ и риска развития АГ и поиск возможных звеньев регуляции функционирования липополисахарид-связывающих систем у пациентов с СД1. *Гипотеза исследования*: ЛСБ может быть потенциально значимым маркером риска развития АГ, что в перспективе может стать точкой приложения персонифицированной терапии. *Методы*. В исследование было включено 92 пациента с диагнозом СД1. У 32 пациентов по данным медицинской документации установлено наличие АГ. Пациентам было проведено исследование плазмы крови методом иммуноферментного анализа

[1] Исследование выполнено при поддержке гранта Государственного Совета Республики Крым молодым ученым Республики Крым (Постановление Президиума Государственного Совета Республики Крым от 22.01.2025 г. № п95-3/25).

(ИФА) для определения уровня ЛСБ (нг/мл). *Результаты*. Площадь под ROC-кривой, соответствующей взаимосвязи прогноза АГ и уровня ЛСБ в периферической крови, составила 0,706±0,061 с 95 % ДИ: 0,586–0,826, p=0,004. При концентрации ЛСБ равной или превышающей значение 5,75 нг/мл прогнозировался низкий риск АГ.

Ключевые слова: сахарный диабет, липополисахарид-связывающий белок, артериальная гипертензия.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) являются основной причиной смертности во всем мире — на их долю приходится 17,9 миллионов смертей ежегодно и 31 % всех смертей в мире [1]. Заболевания, ассоциированные с атеросклерозом и артериальной гипертензией, являются наиболее распространенными формами ССЗ [2, 3]. В настоящее время известно, что развитию данной патологии способствует хроническое воспаление кровеносных сосудов, однако, причины хронического воспаления остаются малоизученными. В последние годы липополисахарид (ЛПС), который является компонентом внешней мембраны грамотрицательных бактерий, был отмечен как потенциальный источник хронического слабовыраженного системного воспаления [4]. Грамотрицательные бактерии колонизируют резидентную микробиоту в желудочно-кишечном тракте, мочеполовых и дыхательных путях человека, а также в полости рта. Состояние хронически повышенного уровня липополисахарида в сыворотке, при котором уровень ЛПС сыворотки крови в 10–50 раз ниже, чем у пациентов с сепсисом, было обозначено как «метаболическая эндотоксинемия» [5]. Несколько исследований на мышах и людях показали, что метаболическая эндотоксинемия связана с метаболическими нарушениями, такими как ожирение, инсулинорезистентность и сахарный диабет [6].

Липополисахарид-связывающий белок (ЛСБ) — белок острой фазы с молекулярной массой <60 кДа, связывающий полимеры липополисахарида в крови и переносящий его мономеры в клеточный рецепторный комплекс, состоящий из CD14, MD2 и Toll-подобного рецептора 4 типа (TLR4), который активирует иммунные клетки посредством продукции провоспалительных цитокинов, таких как фактор некроза опухоли-α, интерлейкин 1, интерлейкин 6, интерлейкин 8 и интерферон β [7]. Когда липополисахарид попадает в кровь даже на субклиническом уровне воспаления, ЛСБ синтезируется в основном в печени, что отражает активацию воспалительной реакции. Концентрация ЛСБ в сыворотке у здоровых людей находится в диапазоне ≈0,1–10 мкг/мл, но увеличивается более чем в 10 раз во время острого воспаления [8]. Кроме того, сообщалось, что концентрация ЛСБ в сыворотке достигает пика через 12 часов после воздействия небольшого количества липополисахарида и ЛСБ имеет более длительный период полураспада, чем липополисахарид в крови [9]. Следовательно, концентрация ЛСБ в сыворотке является стабильным индикатором воздействия липополисахарида.

В нескольких эпидемиологических исследованиях сообщалось о перекрестных ассоциациях уровней ЛСБ в сыворотке с наличием атеросклероза и сердечно-сосудистых заболеваний. С другой стороны, было проведено только одно исследование, посвященное влиянию уровня ЛСБ в сыворотке крови на развитие сердечно-сосудистых заболеваний [11], обнаружившее статистически значимую связь между сывороточными уровнями ЛСБ и смертностью у пациентов с высоким кардиоваскулярным риском, перенесших коронарографию; а оценки ассоциаций уровня ЛСБ и риска развития артериальной гипертензии не проводилось вовсе. Целью данного исследования явилось изучение влияния уровня ЛСБ на риск развития АГ у пациентов с СД1.

Материалы и методы

В исследование были включены 92 пациента с верифицированным диагнозом СД 1 типа, находившиеся на стационарном лечении в эндокринологическом отделении ГБУЗ РК «Республиканская больница имени Н.А. Семашко», среди которых было 45 мужчин и 47 женщин. Среди 92 пациентов, включенных в исследование, верифицированный диагноз «артериальная гипертензия» имели 32 человека. Исследования проводились с соблюдением принципов Хельсинской декларации 1975 года, пересмотренной в 2013 году. Протокол исследования №10 одобрен Локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского», г. Симферополь, 10 октября 2024 г. Предварительно ознакомившись с ходом исследования и изучив информацию о нем, все пациенты подписали информированное добровольное согласие. Критериями исключения являлись: отказ пациента на любом из этапов исследования, наличие тяжелых сопутствующих заболеваний, ограничивающих прогноз и снижающих ожидаемую продолжительность жизни менее 1 года, наличие инфекционных заболеваний в период обострения, онкологических заболеваний, противоопухолевая терапия, период беременности или лактации.

Оценку уровня ЛСБ проводили с помощью иммуноферментного анализа (ИФА) на базе центра коллектив-

ного пользования научного оборудования «Молекулярная биология» ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского», оснащенного прибором для проведения высокочувствительного иммуноферментного анализа с использованием теста ИФА (Cloud Clone Corp; Ухань, провинция Хубэй, Китай). Статистическая обработка полученных результатов проводилась с помощью лицензированного программного обеспечения IBM SPSS Statistics 27. Для оценки качества эффективности прогностической модели, а также для нахождения оптимальной точки (точка cut-off) порогового значения уровня ЛСБ, применялся ROC-анализ с построением ROC-кривой. Разделяющее значение количественного признака в точке cut-off определялось по наивысшему значению индекса Юдена. Различия считались статистически значимыми при p <0,05.

Результаты

Все пациенты, включенные в исследование, были разделены на две группы: больные, имеющие верифицированный диагноз артериальной гипертензии, выставленный согласно критериям Российского кардиологического общества (32 человека), и пациенты без подтвержденной АГ (60 человек). Основные характеристики исследуемых групп пациентов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Клинико-лабораторная характеристика исследуемых групп пациентов

Параметр	Нет АГ (n=60)	АГ (n=32)	p
Возраст, полных лет	30,0 (21,0–38,0)	48,5 (37,5–59,0)	<0,001*
Стаж заболевания, полных лет	6,0 (2,5–12,0)	23,0 (15,0–34,0)	<0,001*
САД, мм рт. ст.	110,0 (110,0–120,0)	125,0 (112,5–137,5)	<0,001*
ДАД, мм рт. ст.	70,0 (70,0–80,0)	80,0 (70,0-80,0)	<0,001*
СРБ, мг/л	0,77 (0,26–2,38)	1,09 (0,63–1,86)	0,459
ЛСБ, мг/л	6,81 (5,19–11,1)	5,35 (4,04–5,76)	0,004*
СКФ, мл/мин	88,5 (79,0–102,0)	74,5 (60,0–86,0)	<0,001*
ИМТ, кг/м^2	22,0 (20,4–24,9)	26,5 (23,5–29,0)	<0,001*
HbA1c, %	9,15 (7,3–11,6)	8,0 (7,11–8,6)	0,010*
Холестерин общий, ммоль/л	4,85 (4,1–5,41)	5,35 (4,35–6,25)	0,037*
Микроальбуминурия, мг/сут	15,4 (10,6-28,9)	18,3 (10,1-300,2)	0,106

* — достоверно при p <0,05

Всем пациентам проводилось исследование уровня высокочувствительного С-реактивного белка (СРБ), гликированного гемоглобина (HbA1C), сывороточного ЛСБ на момент поступления в эндокринологическое отделение. Медиана концентрации ЛСБ, определенная в результате ИФА сыворотки крови пациентов без АГ, составляла 6,81 (5,19–11,1) мг/л, у пациентов с АГ — 5,35 (4,04–5,76) мг/л; медиана уровня СРБ в группе больных без АГ 0,77 (0,26–2,38), с АГ — 1,09 (0,63–1,86) (табл. 1).

В результате ROC-анализа взаимосвязи уровня ЛСБ периферической крови с риском развития АГ у пациентов с СД1 площадь под ROC-кривой составила 0,706±0,061 с 95% ДИ: 0,586–0,826. Полученная модель была статистически значимой (p <0,004) (рис. 1). Пороговое значение концентрации сывороточного ЛСБ в точке cut-off составило 5,75 мг/л. При уровне ЛСБ менее или равном данному значению прогнозировался высокий риск АГ. Чувствительность и специфичность метода составили 74,1 % и 65,9 % соответственно.

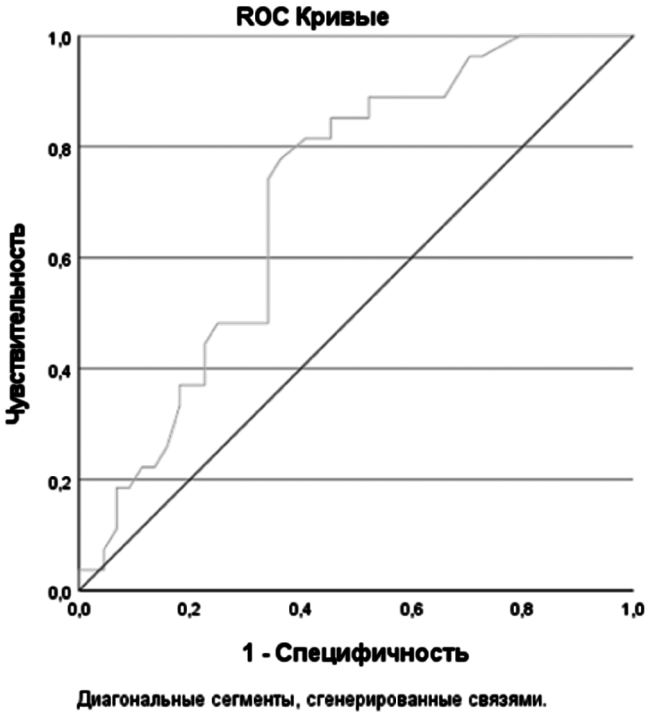


Рис. 1. ROC-кривая взаимосвязи прогноза артериальной гипертензии и уровня ЛСБ периферической крови

Обсуждение

Распространенность аутоиммунных заболеваний, включая СД1, заметно возросла за последние десятилетия. СД1 характеризуется абсолютным дефицитом инсулина, вызванным потерей инсулин-продуцирующих бета-клеток поджелудочной железы, и повышенной заболеваемостью и смертностью, в основном из-за долгосрочных осложнений диабета [12]. Было продемонстрировано, что сочетание сердечно-сосудистых

факторов риска и состояния слабовыраженного воспаления связано с прогрессированием как микро-, так и макро сосудистых осложнений диабета при СД1. Высвобождение бактериального липополисахарида (ЛПС, эндотоксина) в кровоток считается возможным источником хронической воспалительной реакции при СД1 и связана с прогрессированием диабетической нефропатии, сердечно-сосудистых заболеваний и атеросклероза. Помимо возможных факторов, предрасполагающих пациентов с СД1 к повышенной эндотоксинемии и слабовыраженному воспалению (таких как синдром повышенной кишечной проницаемости, дисбактериоз кишечной микробиоты, гипергликемия и т.д.), особый интерес представляет потенциальная протекторная роль ЛСБ в контексте риска развития гипертензивных нарушений в группе пациентов с СД1.

Механизмы, посредством которых циркулирующие ЛПС нарушают различные метаболические функции, становятся все более понятными. В частности, когда ЛПС достигают жировой ткани, они взаимодействуют с макрофагами, локализованными в жировой ткани, и вызывают выработку воспалительных цитокинов, тем самым подавляя потемнение адипоцитов [13]. Поскольку потемнение адипоцитов играет решающую роль в метаболизме триглицеридов, считается, что подавление потемнения адипоцитов ЛПС способствует снижению липидного метаболизма, ожирению и повышению артериального давления через артериосклероз. Кроме того, в исследованиях in vitro с использованием линий миобластных клеток было показано, что ЛПС повышает резистентность к инсулину посредством индуцируемого опосредованного синтазой оксида азота нитрования тирозина субстрата инсулинового рецептора 1. Кроме того, сообщалось, что ЛПС вызывают апоптоз в гепатоцитах через толл-подобный рецептор 4 типа, что приводит к повреждению печени [14]. Следовательно, предполагается, что циркулирующие ЛПС нарушают клеточные функции в различных органах, что приводит к различным расстройствам метаболизма.

Липополисахарид-связывающий белок связывается с липополисахаридом грамотрицательных бактерий, образуя комплексы ЛПС/ЛСБ. ЛСБ необходим для переноса ЛПС на толл-подобный рецептор (TLR4) клеток миелоидного ряда, запуская клеточные реакции на ЛПС. Также было продемонстрировано, что ЛСБ усиливает иммунный ответ на грамположительные бактерии. ЛСБ в настоящее время признан рецептором распознавания паттернов, который переносит микробные лиганды на рецепторы, такие как TLR4 [15]. В сыворотке здоровых людей уровни ЛСБ колеблются от 5 до 15 мкг/мл. Однако, физиологическая роль ЛСБ сравнительно менее изучена. У мышей, получавших стандартную диету, развивалось воспаление печени, окислительный стресс и фиброз, когда ЛСБ был подавлен в печени [16]. Также сообщалось, что мыши с нокаутом ЛСБ защищены от токсического поражения печени [17]. Это указывает на противоположную роль относительно низких уровней ЛСБ в физиологических условиях и обычно высоких уровней ЛСБ в патологических состояниях. Антитела, нейтрализующие связывание ЛПС с ЛСБ, защитили мышей от эндотоксемического шока при одновременном введении с ЛПС [18]. Однако, было показано, что высокие уровни ЛСБ, такие как у пациентов с тяжелым сепсисом или септическим шоком, подавляют реакцию на ЛПС макрофагов человека, что указывает на защитную роль повышенного уровня ЛСБ в сыворотке при сепсисе [19].

В некоторых работах предполагается наличие связи между концентрацией ЛПС в плазме и нарушением метаболизма глюкозы, однако, другие исследования демонстрируют противоречивые данные — Fuke, Sawada и др. не обнаружили значительной корреляции между уровнями ЛПС в крови и HbA1c. Это может быть связано с различными периодами полураспада ЛПС и ЛСБ в крови. В исследовании, в котором ЛПС вводили в кровь человека, концентрация ЛПС в крови достигала пика через 5 минут и исчезала через 15 минут [20]. С другой стороны, увеличение концентрации ЛБП в крови, вызванное инъекцией ЛПС, сохраняется в течение 3 дней после инъекции ЛПС. Поскольку HbA1c является мерой гипергликемического состояния в прошлом, он по своей природе может быть сильнее связан с концентрацией ЛБП, чем с концентрацией ЛПС в крови.

Взаимосвязь сердечно-сосудистого риска и концентрации ЛСБ в сыворотке периферической крови изучалась в группе пациентов со стабильной ишемической болезнью сердца, острыми цереброваскулярными событиями и острым коронарным синдромом [21]. В исследовании Metz, Brines и др. (2025), в котором определялись уровни ключевых циркулирующих биомаркеров врожденных иммунных реакций и воспаления (ЛСБ, С-реактивный белок (СРБ), интерлейкин-6 (ИЛ-6), лептин и адипонектин) у взрослых женщин с избыточной массой тела, артериальной гипертензией и дислипидемией, концентрация сывороточного ЛСБ была достоверно повышена (p=0,017) по сравнению с группой здорового контроля [22]. Некоторые показатели, которые косвенно могут отражать развитие артериальной гипертензии в группе пациентов с диабетом и их ассоциации с концентрацией ЛСБ были исследованы в работе Sakura, Morioka и др. Однако, данное исследование, затронувшее только пациентов с СД2, продемонстрировало, что сывороточные уровни ЛСБ независимо и положительно коррелировали со скоростью распространения пульсовой волны (СРПВ) у пациентов с СД2. Два предыдущих исследования показали, что сывороточные уровни ЛСБ были значимым предиктором развития ишемической болезни сердца и сердечно-сосудистой смертности, независимо от установленных сердечно-сосудистых факторов риска

и воспалительных маркеров [23]. Недавно было показано, что сывороточные уровни ЛСБ независимо связаны с толщиной интима-медиа сонной артерии, наиболее установленным морфологическим косвенным маркером сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности после поправки на возраст, пол, ИМТ и уровни СРБ у здоровых лиц [24]. СРПВ также была установлена как независимый предиктор будущих сердечно-сосудистых событий и смертности, и ее взаимосвязь с уровнем сывороточного ЛСБ указывает на возможную роль последнего в прогрессировании атеросклероза.

Несмотря на наличие многочисленных данных об ассоциации сердечно-сосудистых заболеваний с уровнем ЛСБ в группе пациентов с СД2, взаимосвязь уровня ЛСБ с риском развития АГ в группе пациентов с СД1 не изучена.

По нашему мнению, полученные нами данные о повышенном риске развития АГ при СД1 у пациентов с более низкими исходными значениями ЛСБ, являются на первый взгляд парадоксальными. Вместе с тем объяснение этому «парадоксу» может быть найдено в вероятном гликировании молекулы ЛСБ при СД1. При этом образование комплекса ЛПС + гликированный ЛСБ меняет аффинность данного комплекса к толл-подобным рецепторам 4 типа, и приводит к уменьшению провоспалительного ответа на ЛПС.

Заключение

Выявлено, что при уровне в периферической крови липополисахарид-связывающего белка менее или равному 5,75 мг/л (точка cut-off) прогнозируется высокий риск развития артериальной гипертензии у больных сахарным диабетом 1 типа (чувствительность и специфичность метода составили 74,1 % и 65,9 % соответственно). Таким образов, ЛСБ может являться потенциально протекторным фактором в контексте развития АГ у пациентов с сахарным диабетом 1 типа.

Более глубокое понимание взаимосвязей между эндотоксинемией и эндотоксин-связывающими системами важно для разработки будущих стратегий лечения и профилактики сосудистых осложнений сахарного диабета 1 типа. Потенциальные клинические применения такого анализа можно экстраполировать на возможность использования плазменных концентраций ЛПС и ЛСБ при определении терапевтических стратегий для людей с аномальным метаболизмом глюкозы как одного из ведущих факторов кардиоваскулярного риска. С другой стороны, сообщалось, что диетические факторы, такие как олигосахариды, пробиотики и полифенолы, потенциально снижают концентрацию ЛПС в плазме [25]. Если роль уровней ЛСБ и ЛПС в качестве предикторов риска развития АГ у пациентов с СД1 будет дополнительно продемонстрирована, в будущем может оказаться возможным разработать индивидуализированные диетические вмешательства (олигосахариды, пробиотики и полифенолы), направленные на коррекцию дисбаланса эндотоксин-реализующих/эндотоксин-связывающих систем у данной категории пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. World Health Organization. Cardiovascular disease. World Heart Day. Available at: https://www.who.int/cardiovascular_diseases/world-heart-day/en/. (Accessed 10 June 2019)
2. Hypertension as a risk factor for atherosclerosis: Cardiovascular risk assessment /A.V. Poznyak, N.K. Sadykhov, A.G. Kartuesov, E.E. Borisov, A.A. Melnichenko, A.V. Grechko, A.N. Orekhov // Front Cardiovasc Med. — 2022. — Vol. 9. — P. 19. — DOI 10.3389/fcvm.2022.959285.
3. Pathophysiology of Cardiovascular Diseases: New Insights into Molecular Mechanisms of Atherosclerosis, Arterial Hypertension, and coronary artery disease / W. Frąk, A. Wojtasińska, W. Lisińska, E. Młynarska, B. Franczyk, J. Rysz // Biomedicines. — 2022. — Vol. 10, No. 8. — P. 1938. — DOI 10.3390/biomedicines10081938.
4. The Role of Lipopolysaccharide-Induced Cell Signalling in Chronic Inflammation / M.J. Page, D.B. Kell, E. Pretorius // Chronic Stress (Thousand Oaks). — 2022. — Vol. 6. — P. 18. — DOI 10.1177/24705470221076390.
5. Metabolic endotoxinemia: possible causes and consequences / V.A. Beloglazov, I.A. Iatskov, E.D. Kumel'skii, V.V. Polovinkina // Ozhirenie i metabolizm [Obesity and metabolism]. — 2021. — Vol. 18, No. 3. — P. 320–326. — DOI 10.14341/omet12750 (in Russian).
6. Metabolic endotoxemia and diabetes mellitus: a systematic review / J.M.G. Gomes, J.A. Costa, R.C.G. Alfenas // Metabolism. — 2016. — Vol. 68. — P. 133–144.
7. A TLR4-independent critical role for CD14 in intracellular LPS sensing / S.O. Vasudevan, A.J. Russo, P. Kumari, S.K. Vanaja, V.A. Rathinam // Cell Reports. — 2022. — Vol. 39, No. 5. — P. 32. — DOI 10.1016/j.celrep.2022.110755.
8. Role of C-Reactive Protein at Sites of Inflammation and Infection / N.R. Sproston, J.J. Ashworth // Front Immunol. — 2018. — Vol. 13, No. 9. — P. 754. — DOI 10.3389/fimmu.2018.00754.
9. Intestinal barrier dysfunction, LPS translocation, and disease development / S.S. Ghosh, J. Wang, P.J. Yannie, S. Ghosh // J Endocr Soc. — 2020. — Vol. 4, No. 23. — DOI 10.1210/jendso/bvz039.
10. Lipopolysaccharide-binding protein (LBP) is associated with total and cardiovascular mortality in individuals with or without stable coronary artery disease: results from the Ludwigshafen Risk and Cardiovascular Health Study (LURIC) / P.M. Lepper, M.E. Kleber, T.B. Grammer, K. Hoffmann, S. Dietz, B.R. Winkelmann, B.O. Boehm, W. März // Atherosclerosis. — 2011. — Vol. 219. — P. 291–297.
11. Plasma Lipopolysaccharide-Binding Protein (LBP) Is Induced in Critically Ill Females with Gram-Negative Infections — Preliminary Study / A. Utrata, N. Schmidtner, P. Mester, S. Schmid, M. Müller, V. Pavel, C. Buechler // Infect. Dis. Rep. — 2025. — Vol. 17, No. 10. — DOI 10.3390/idr17010010.

12. J. Lucier, P.M. Mathias. Type 1 Diabetes. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025. Available at: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK507713/
13. Neutrophil Migration Is Mediated by VLA-6 in the Inflamed Adipose Tissue / H. Lim, Y.H. Choe, J. Lee, G.E. Kim, J.W. Hyun, Y.M. Hyun // Immune Netw. — 2024. — Vol. 24, No. 3. — P. 23. — DOI 10.4110/in.2024.24.e23.
14. The effect of lipopolysaccharide on liver homeostasis and diseases based on the mutual interaction of macrophages, autophagy, and damage-associated molecular patterns in male F344/DuCrlCrlj rats / Y. Takami, M. Tanaka, T. Izawa, M. Kuwamura, J. Yamate // Veterinary Pathology. — 2023. — Vol. 60, No. 4. — P. 461–472. — DOI 10.1177/03009858231173364.
15. Pattern recognition receptors in health and diseases / D. Li, M. Wu // Sig Transduct Target Ther 6. — 2021. — P. 29. — DOI 10.1038/s41392-021-00687-0.
16. Liver lipopolysaccharide binding protein prevents hepatic inflammation in physiological and pathological non-obesogenic conditions / E. Milbank, R. Díaz-Trelles, N. Dragano, J. Latorre, R. Mukthavaram, J. Mayneris-Perxachs, F. Ortega, M. Federici, R. Burcelin, P.P. Karmali, K. Tachikawa, P. Chivukula, M. López, J.M. Fernández-Real, J.M. Moreno-Navarrete // Pharmacol Res. — 2023. — Vol. 187. — DOI 10.1016/j.phrs.2022.106562.
17. Lipopolysaccharide-binding protein modulates acetaminophen-induced liver injury in mice / G.L. Su, K.Q. Gong, M.H. Fan, W.M. Kelley, J. Hsieh, J.M. Sun, M.R. Hemmila, S. Arbabi, D.G. Remick, S.C. Wang // Hepatology. — 2005. — Vol. 41, No. 1. — P. 187–195. — DOI 10.1002/hep.20533.
18. Plasma Lipopolysaccharide-Binding Protein (LBP) Is Induced in Critically Ill Females with Gram-Negative Infections— Preliminary Study / A. Utrata, N. Schmidtner, P. Mester, S. Schmid, M. Müller, V. Pavel, C. Buechler // Infect. Dis. Rep. — 2025. — Vol. 17, No.10. — 10.3390/idr17010010.
19. High concentrations of lipopolysaccharide-binding protein in serum of patients with severe sepsis or septic shock inhibit the lipopolysaccharide response in human monocytes / J. Zweigner, H.J. Gramm, O.C. Singer, K. Wegscheider, R.R. Schumann // Blood. — 2001. — Vol. 98, No. 13. — P. 3800–3808. — DOI 10.1182/blood.v98.13.3800.
20. The effect of lipopolysaccharide (LPS) on inflammatory markers in blood and brain and on behavior in individually housed pigs / J. Nordgreen, C. Munsterhjelm, F. Aae, A. Popova, P. Boysen, B. Ranheim, M. Heinonen, J. Raszplewicz, P. Piepponen, A. Lervik, A. Valros, A.M. Janczak // Physiology & Behavior. — 2018. — Vol. 195. — P. 98–111.
21. Association of lipopolysaccharide-binding protein and coronary artery disease in men / P.M. Lepper, C. Schumann, K. Triantafilou, F.M. Rasche, T. Schuster, H. Frank, E.M. Schneider, M. Triantafilou, M. von Eynatten // J Am Coll Cardiol. — 2007. — Vol. 50, No. 1. — P. 25–31. — DOI 10.1016/j.jacc.2007.02.070.
22. Increased plasma lipopolysaccharide-binding protein and altered inflammatory mediators reveal a pro-inflammatory state in overweight women / C.N. Metz, M. Brines, X. Xue, P.K. Chatterjee, R.P. Adelson, J. Roth, K.J. Tracey, P.K. Gregersen, V.A. Pavlov // BMC Women's Health. — 2025. — Vol. 25, No. 1. — P. 57. — DOI 10.1186/s12905-025-03588-4.
23. Lipopolysaccharide-binding protein (LBP) is associated with total and cardiovascular mortality in individuals with or without stable coronary artery disease--results from the Ludwigshafen Risk and Cardiovascular Health Study (LURIC) / P.M. Lepper, M.E. Kleber, T.B. Grammer, K. Hoffmann, S. Dietz, B.R. Winkelmann, B.O. Boehm, W. März // Atherosclerosis. — 2011. — Vol. 219, No. 1. — P. 291–297. — DOI 10.1016/j.atherosclerosis.2011.06.001.
24. Serum lipopolysaccharide-binding protein as a marker of atherosclerosis. / M. Serrano, J.M. Moreno-Navarrete, J. Puig, M. Moreno, E. Guerra, F. Ortega, G. Xifra, W. Ricart, J.M. Fernández-Real // Atherosclerosis. — 2013. — Vol. 230, No. 2. — P. 223–227. — DOI 10.1016/j.atherosclerosis.2013.07.004.
25. Regulation of Gut Microbiota and Metabolic Endotoxemia with Dietary Factors / N. Fuke, N. Nagata, H. Suganuma, T. Ota // Nutrients. — 2019. — Vol. 11, No. 10. — P. 2277. — DOI 10.3390/nu11102277.

© Усеинова Реан Хайриевна (rean98@mail.ru); Белоглазов Владимир Алексеевич (biloglazov@mail.ru);
Яцков Игорь Анатольевич (egermd@yandex.ru); Репинская Ирина Николаевна (repinskaya.irina@mail.ru);
Пентковская Доната Александровна (pentkovskayaa@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.44

ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАЦИЕНТОВ С ГЛУБОКОЙ РЕЗЦОВОЙ ДИЗОККЛЮЗИЕЙ

ELECTROMYOGRAPHIC EXAMINATION OF PATIENTS WITH DEEP INCISOR DYSOCCLUSION

S. Fischev
A. Sevastyanov
A. Klimov
M. Rozhkova
S. Pavlova
N. Vasilyeva
T. Berezkina
M. Puzdyreva

Summary. Deep incisor dysocclusion leads not only to aesthetic disorders, but also causes functional and morphological changes in the chewing and speech apparatus, which are most clearly manifested in adult patients. Experts point out that the habitual occlusion in patients with deep incisor dysocclusion becomes stable and complicates subsequent prosthetics aimed primarily at restoring (normalizing) the height of the lower face.

Keywords: orthodontics, deep incisor dysocclusion, electromyography, malocclusion.

Фищев Сергей Борисович
Доктор медицинских наук, профессор, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
super.kant@yandex.ru
Севастьянов Аркадий Владимирович
Доктор медицинских наук, профессор, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
ardy.dkr@mail.ru
Климов Андрей Геннадьевич
Кандидат медицинских наук, доцент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
pstom4@zdrav.spb.ru
Рожкова Мария Геннадьевна
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
rozmaria2010@yandex.ru
Павлова Светлана Георгиевна
Кандидат медицинских наук, доцент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
svetap_75@mail.ru
Васильева Нелли Александровна
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
vas.nell@yandex.ru
Березкина Татьяна Николаевна
«Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
mail332@mail.ru
Пуздырева Маргарита Николаевна
Кандидат медицинских наук, доцент, «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет»
seven-spb@yandex.ru

Аннотация. Глубокая резцовая дизокклюзия приводит не только к нарушению эстетики, но и вызывает функциональные и морфологические изменения жевательно-речевого аппарата, которые наиболее отчётливо проявляются у взрослых пациентов.
Специалисты указывают на то, что привычная окклюзия у пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией становится устойчивой и затрудняет последующее протезирование, направленное, в первую очередь, на восстановление (нормализацию) высоты нижнего отдела лица.

Ключевые слова: ортодонтия, глубокая резцовая дизокклюзия, электромиография, аномалии прикуса.

Глубокая резцовая дизокклюзия, вызывая блокирование движений нижней челюсти, может служить причиной развития заболеваний височно-нижнечелюстного сустава. Кроме того, частичная утрата зубов, встречающаяся у 97,01 % ± 2,07 % взрослых пациентов с данной аномалией, может существенно усилить тяжесть клинической картины заболевания [1, 2, 3, 4].

Привычная окклюзия у пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией становится устойчивой и затрудняет последующее протезирование, направленное, в первую очередь, на восстановление (нормализацию) межальвеолярной высоты [5, 6, 7].

Из анализа отечественной и зарубежной литературы видно, что на сегодняшний день нет чётко выявленных причин возникновения глубокого прикуса. Формы данной патологии многообразны и не объединены едиными клиническими проявлениями, важными для практических врачей [8, 9].

Подавляющее большинство исследований посвящено изучению вопросов диагностики и лечения у детей. В то же время, данная аномалия, не устранённая в детском возрасте, у взрослых, вместе с сопутствующей патологией, вызывает большие страдания и трудности в лечении. Остаются недостаточно изученными функциональные нарушения в зубочелюстной области при глубокой резцовой окклюзии и дизокклюзии. Не однозначно мнение специалистов по выбору методов комплексного лечения данной группы пациентов [10].

Различные мнения высказываются по поводу методов и сроков ортодонтического лечения различных форм глубокой резцовой дизокклюзии, конструкции временных аппаратов и постоянных протезов, а также материалов для их изготовления. Нет четких рекомендаций по проведению комплексного лечения у пациентов с различными формами снижения высоты гнатической части лица. Все это и предопределило цель и задачи настоящего исследования [11, 12].

Цель исследования: Повышение эффективности диагностики глубокой резцовой дизокклюзией на основе электромиорафического исследования.

Материалы и методы исследования

Проведено электромиографическое исследование морфометрических 69 жителей г. Санкт-Петербурга с физиологической окклюзией постоянных зубов, а также лечение 55 пациентов первого периода зрелого возраста с различными формами глубокой резцовой дизокклюзии. Предварительное исследование лица человека при различных формах глубокой резцовой дизокклюзии позволило нам выделить две основные группы пациентов.

В первую группу входили 31 пациент с глубокой резцовой дизокклюзией без снижения высоты гнатической части лица.

У 24 пациента *второй группы* определялись глубокая резцовая дизокклюзия, сопровождающаяся уменьшением высоты гнатической части лица.

Количество пациентов в группах было примерно одинаковым, что делало группы однородными по указанным признакам.

Электромиографические исследования височных и собственно жевательных мышц у пациентов проводили в состоянии: функционального покоя жевательных мышц, произвольного (право- и левостороннего) жевания кусочков серого хлеба, глотания и максимального напряжения жевательных мышц в положении центральной окклюзии. Во время жевательных движений нижней челюсти появлялись биопотенциалы в собственно жевательных и височных мышцах, которые электромиограммы фиксировали в виде вертикальных амплитуд. На электромиогараммах наблюдали чередование биоэлектрической активности БЭА «всплесков-пиков», возникающих в ритме жевательных движений и прямых линий, то есть состояния биоэлектрического покоя (БЭП). Некоторые пациенты жевали на одной стороне, другим был присущ двусторонний тип жевания.

Комплекс БЭА и БЭП мы определяли как «динамический цикл» (ДЦ).

Процесс жевания заканчивался актом глотания. Для него было характерно смыкание зубных рядов в положение центральной окклюзии. На ЭМГ акту глотания соответствует последний период БЭА, который отличается от предшествующих активностей жевательных мышц преобладающей амплитудой биопотенциалов и некоторой продолжительностью её во времени (рис. 1).

Анализ параметров височных и собственно жевательных мышц по данным ЭМГ, включал: среднюю продолжительность БЭА и БЭП, время одного динамического цикла (БЭА + БЭП) и время полного периода жевания (ППЖ). В цифровых значениях определены количество ДЦ за весь период жевания и показатели коэффициента «К» (отношение времени БЭА к БЭП).

В процессе анализа полученных данных сопоставляли средние величины БЭА и БЭП.

Результаты исследования

Параметры электромиограмм пациентов с физиологической окклюзией постоянных зубов представлены в таблице 1.

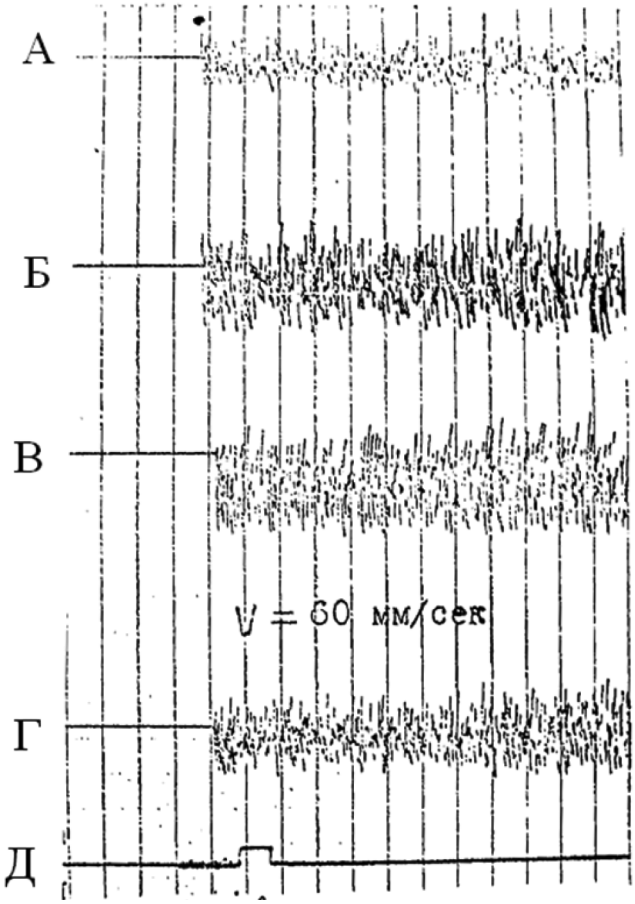


Рис. 1. Фотография электромиограммы пациента Н. Переход из состояния БЭП в БЭА

Таблица 1.

Параметры электромиограмм пациентов с физиологической окклюзией постоянных зубов

Показатели ЭМГ	Результаты временных показателей ЭМГ (в сек.) мышц:		p
	височной	собственно-жевательной	
БЭА	0,35 ± 0,03	0,37 ± 0,04	> 0,05
БЭП	0,39 ± 0,04	0,41 ± 0,03	> 0,05
«К»	0,90 + 0,07	0,91 + 0,08	> 0,05
ДЦ	0,75 + 0,11	0,77 + 0,13	> 0,05
К-во ДЦ	18,2 + 1,12	18,3 + 1,8	> 0,05
ППЖ	13,9 + 1,6	14,1 + 1,6	> 0,05

Биоэлектрический потенциал насколько преобладал у собственно-жевательных мышц, хотя достоверной разницы по этому показателю мы не отметили. Полученные данные были использованы нами при исследовании лиц с уменьшенной высотой гнатической части лица и для определения эффективности лечения пациентов исследуемых групп.

Нами было проведено исследование функционального состояния челюстно-лицевой области у пациентов двух клинических групп, в зависимости от формы глубокой резцовой дизокклюзии.

Результаты исследования пациентов 1 группы

Функциональные нарушения, у обследуемых нами пациентов выражались в ухудшении функции жевания, особенно пережевывания пищи. Кроме того, при неправильном расположении зубов пародонт этих зубов воспринимал окклюзионную нагрузку необычную по направлению, в результате которой возникала функциональная травматическая перегрузка пародонта, нарушалось нормальное кровообращение его тканей. Перегруженные зубы еще больше отклонялись в сторону, соответствующую направлению действующей силы. Это в свою очередь усугубляло перегрузку зубов, которые приобретали патологическую подвижность, смещались или наклонялись в какую-либо сторону (вестибулярную, язычную, мезиальную, дистальную), либо поворачивались по оси.

Основными жалобами пациентов исследуемой группы были ощущения дискомфорта в полости рта, функциональные нарушения, эстетический недостаток в связи с глубокой резцовой дизокклюзией, нарушение смыкания зубных рядов.

Определяемое методом окклюзографии состояние окклюзионных взаимоотношений зубных рядов, выявило недостаточное количество площадок смыкания окклюзионных поверхностей. Число контактных точек при визуальном анализе не превышало 15,1 + 3,7 как на верхней, так и на нижней челюстях.

Качественный анализ электромиограмм пациентов 1 группы показал нарушение синхронной и координированной работы мышц, нарушение чередования динамических циклов.

Количественные показатели характеризовались увеличением средней продолжительности времени одного динамического цикла (ДЦ) до 0,85–0,92 сек.

Параметры электромиограмм пациентов 1 группы приведены в таблице 2.

Сократительная способность мышц и, особенно, собственно жевательных, была снижена и выражалась низковольтными колебаниями амплитуды биопотенциалов, в связи с этим соотношение процессов возбуждения и торможения (коэффициент «К») был выше 1,2. Количество динамических циклов жевательных мышц увеличивалось и превышало 21. Время полного периода жевания (ППЖ) у пациентов 1 группы было выше, чем

Таблица 2.

Параметры электромиограмм пациентов 1 группы

Показатели ЭМГ	Результаты временных показателей ЭМГ (в сек.) мышц:		p
	Височной	Собственно-жевательной	
БЭА	0,32 ± 0,03	0,33 ± 0,04	> 0,05
БЭП	0,26 ± 0,04	0,27 ± 0,03	> 0,05
«К»	1,23 + 0,06	1,22 + 0,09	> 0,05
ДЦ	0,82 + 0,12	0,89 + 0,14	> 0,05
К-во ДЦ	22,3 + 1,24	21,8 + 1,81	> 0,05
ППЖ	17,4 + 1,62	17,0 + 1,66	> 0,05

у лиц с физиологической окклюзией постоянных зубов, и составляло 17,2 + 1,64 сек.

К концу акта жевания биоэлектрическая активность сохранялась только у височных мышц и в акте глотания, как правило, принимали только височные мышцы, что характерно для лиц с темпоральным типом жевания и глубокой резцовой дизокклюзией.

Результаты исследования пациентов 2 группы

Функциональные нарушения, которые были выявлены у пациентов 2 группы, выражались в ухудшении функции жевания, и были более выражены, чем у пациентов 1 группы.

Определяемое методом окклюзографии состояние окклюзионных взаимоотношений зубных рядов, выявило недостаточное количество площадок смыкания окклюзионных поверхностей, а в некоторых случаях и полное их отсутствие, что определялось тяжестью клинической картины патологии.

Пациенты 2 группы отмечали неудобство при жевании, более длительный, чем в других группах период пережевывания пищи, утомляемость жевательных мышц из-за аномального положения нижней челюсти, к тому же осложненного деформацией зубных рядов. Время жевания было удлинено у всех пациентов, и составляло 26,4 + 1,72 сек. Жевательная эффективность составляла 22,1 + 1,8 %.

Качественный анализ электромиограмм пациентов 2 группы, так же, как и у пациентов 1 группы, показал нарушение синхронной и координированной работы мышц, нарушение чередования динамических циклов.

Параметры электромиограмм пациентов исследуемой группы приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Параметры электромиограмм пациентов 2 группы

Показатели ЭМГ	Результаты временных показателей ЭМГ (в сек.) мышц:		p
	височной	собственно-жевательной	
БЭА	0,46 ± 0,02	0,45 ± 0,04	> 0,05
БЭП	0,31 ± 0,03	0,30 ± 0,03	> 0,05
«К»	1,48 + 0,08	1,51 + 0,09	> 0,05
ДЦ	0,91 + 0,12	0,97 + 0,14	> 0,05
К-во ДЦ	24,6 + 1,31	24,3 + 1,64	> 0,05
ППЖ	26,9 + 1,81	26,1 + 1,76	> 0,05

Результаты исследования показали, что у пациентов 2 группы увеличивался период жевания и количество жевательных движений. Величина БЭП уменьшалась, а БЭА увеличивалась, в связи с этим процессы возбуждения в 1,5 раза превышали процессы торможения («К»). Время жевания также было удлинено и полный период жевания (ППЖ) у пациентов 2 группы было выше, чем у пациентов остальных группы.

Количественные показатели характеризовались увеличением средней продолжительности времени одного динамического цикла (ДЦ) до 0,92–0,99 сек.

Заключение

Таким образом, для пациентов с глубокой резцовой дизокклюзией, сопровождающейся снижением высоты гнатической части лица, в сочетании с дефектами зубных рядов в боковых отделах, было характерно изменение морфологических и функциональных параметров челюстно-лицевой области. Несмотря на сходство клинической картины патологии, лицевых признаков и выраженности функциональных нарушений, отмечались некоторые различия, которые в основном касались изменений в височно-нижнечелюстном суставе.

Уменьшение высоты гнатической части лица сопровождалось определенными закономерностями функциональных сдвигов, которые взаимообуславливали друг друга. При этом оказалось, что при одних формах патологии наблюдались более выраженные нарушения функции жевания, а при других — изменения деятельности жевательных мышц. К тому же в зависимости от формы глубокой резцовой дизокклюзии функциональные сдвиги приобретали самостоятельное значение, развивающееся как в жевательных мышцах, так и в характере жевательных движений нижней челюсти.

Функциональные нарушения, которые были выявлены у пациентов 2 группы, выражались в ухудшении функ-

ции жевания, и были более выражены, чем у пациентов 1 группы. Пациенты отмечали неудобство при жевании, более длительный, чем в других группах период пережевывания пищи, утомляемость жевательных мышц из-за аномального положения нижней челюсти, к тому же осложненного деформацией зубных рядов. Время жевания было удлинено у всех пациентов, и составляло 26,4 + 1,72 сек. Жевательная эффективность составляла 22,1 + 1,8 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беркина Т.В. Особенности быстрого небного расширения в ортодонтии: клинический случай / Березкина Т.Н., Рожкова М.Г., Фищев С.Б., Климов А.Г., Севастьянов А.В. и др. // Институт стоматологии. — 2024. №3. — С. 19–21.
2. Климов А.Г. Особенности инклинации и ангуляции передних зубов у пациентов с физиологической окклюзией при различных вариантах формы зубных дуг / А.Г. Климов, М.Г. Рожкова М.Г., С.Г. Павлова, А.В. Севастьянов и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2024. — № 3/2. — С. 166–172.
3. Пуздырева 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 / М.Н. Пуздырева, Р.С. Субботин, С.Б. Фищев, И.В. Фомин и др. // Педиатр. — 2019. — Т. 10. — № 4. — С. 39–44.
4. Севастьянов А.В. Влияние расположения боковых зубов при различных вариантах формы зубных дуг на пропись брекетов / А.В. Севастьянов, А.Г. Климов, М.Г. Рожкова, С.Г. Павлова, А.А. Шторина и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2024. — № 3/2. — С. 143–147.
5. 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. Естественные и технические науки. — 2023. — № 2–2.— С. 226–230.
6. Шишко Т.В. Особенности угловых параметров зубов при различных трузионных типах зубных дуг / Т.В. Шишко, М.Н. Пуздырева, М.Г. Рожкова, С.Б. Фищев и др. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. — 2023. — № 12.— С. 213–218.
7. Dmitrienko S.V., Domenyuk D.A., Kochkonyan A.S., Karslieva A.G., Dmitrienko D.S. Modern classification of dental arches // Archiv EuroMedica. — 2014. — T. 4. — № 2. — C. 14–16.
8. Dmitrienko S.V., Fomin I.V., Domenyuk D.A., Kondratyuk A.A., Subbotin R.S. Enhancement of research method for spatial location of temporomandibular elements and maxillary and mandibular medial incisors //Archiv EuroMedica. — 2019. — T. 9. — № 1. — P. 38–44.
9. Fischev S.B., Puzdyryova 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. — T. 9. — № 1. — P. 162–163.
10. Puzdyryova M.N., Fischev 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.
11. 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.
12. 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.

© Фищев Сергей Борисович (super.kant@yandex.ru); Севастьянов Аркадий Владимирович (ardy.dkr@mail.ru);
Климов Андрей Геннадьевич (pstom4@zdrav.spb.ru); Рожкова Мария Геннадьевна (rozmaria2010@yandex.ru);
Павлова Светлана Георгиевна (svetap_75@mail.ru); Васильева Нелли Александровна (vas.nell@yandex.ru);
Березкина Татьяна Николаевна (mail332@mail.ru); Пуздырева Маргарита Николаевна (seven-spb@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.46

ПРОГРАММА «ОТСРОЧЕННОГО МАТЕРИНСТВА» У ПАЦИЕНТКИ С ПОСТ КОВИДНЫМИ ОСЛОЖНЕНИЯМИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ (КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ)

THE «DEFERRED MOTHERHOOD» PROGRAM IN A PATIENT WITH POST-COVID CARDIOVASCULAR COMPLICATIONS: A CLINICAL CASE REPORT

V. Khristoforova
E. Merkusheva
S. Yurieva
V. Kaneva
E. Sedunova

Summary. One of the most critical and unresolved issues in medicine, particularly in the fields of obstetrics and gynecology as well as cardiology, is the management strategy for women with COVID-19-associated cardiovascular complications who are enrolled in a «deferred motherhood» program. This paper presents a clinical case review of a woman with suspected post-COVID myocarditis who is planning pregnancy through the «deferred motherhood» program.

Keywords: myocarditis, assisted reproductive technology, deferred motherhood program, heart failure, COVID-19, post-COVID syndrome.

Христофорова Валерия Александровна
ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск
lerakhristi@yandex.ru
Меркушева Елена Алексеевна
ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск
lenamerckusheva35@gmail.com
Юрьева Светлана Владимировна
Кандидат медицинских наук, Доцент, ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск
silviya5@yandex.ru
Канева Виктория Андреевна
ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск
Kanevavii@gmail.com
Седунова Елизавета Максимовна
ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет», г. Архангельск
elizaveta-sedunova@yandex.ru

Аннотация. Одним из важнейших и нерешенных вопросов медицины в области таких направлений, как акушерство и гинекология и кардиология, является тактика ведения женщин с ковид-ассоциированными осложнениями сердечно-сосудистой системы, вступающих в программу «отсроченного материнства». Нами представлен обзор клинического случая с подозрением на пост ковидный миокардит у женщины, планирующей беременность по программе «отсроченного материнства».

Ключевые слова: миокардит, вспомогательные репродуктивные технологии, программа «отсроченного материнства», сердечная недостаточность, коронавирусная инфекция — COVID-19, пост ковидный синдром.

В 2019 году был зафиксирован первый случай заражения коронавирусной инфекцией COVID-19, а в Российской Федерации первые пациенты были выявлены 31 января 2020 года. В марте 2020 года Всемирная организация здравоохранения объявила о пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19, вызванной вирусом SARS-CoV-2.

Пост ковидный синдром — это состояние, которое может возникнуть через 12 недель после того, как человек перенес эпизод острой инфекции COVID-19, закончившийся выздоровлением. При данном синдроме встречаются поражения многих органов и систем [9].

Мы проанализировали данные наблюдений и исследований за последние 3–5 лет, которые показывают, что у людей, перенёсших COVID-19, часто повышается риск развития сердечно-сосудистых заболеваний или ухудшение течения заболеваний сердечно-сосудистой системы. В 30–45 % случаев встречаются осложнения со стороны сердечно-сосудистой системы.

В недавних исследованиях, проведённых с применением методов мета-анализа, было обнаружено, что у значительной части пациентов с COVID-19 наблюдается поражение миокарда, в том числе вызванное вирусной инфекцией. Согласно литературным данным, примерно у 10–20 % людей с подтверждённым диагнозом COVID-19 наблюдается поражение миокарда [2].

В середине 2020 года были опубликованы данные о высокой распространённости миокардитов у пациентов, которые перенесли новую коронавирусную инфекцию [10, 11, 14, 15]. После проведения МРТ с использованием метода слепой оценки был сделан вывод, что вероятность развития миокардита у пациентов после COVID-19 была переоценена [3]. Согласно информации, полученной из реестра АКТИВ (Российский регистр), миокардит был диагностирован всего в 0,25 % случаев. Это значительно меньше, чем по данным Wang Detal (7,2 %) [14]. А по результатам патологоанатомических исследований этот показатель составил 4,5 % и 7,2 % [13,15].

Миокардит — это групповое понятие, включающее в себя поражение миокарда различной этиологии: вирусной, бактериальной, токсической, лекарственной, аутоиммунной, аллергической или неясной этиологии. Миокардит имеет широкий спектр клинических проявлений: от бессимптомного течения, легкой одышки и болей в грудной клетке, проходящих самостоятельно, до сердечной недостаточности, кардиогенного шока, жизнеугрожающих нарушений ритма сердца, а также внезапной сердечной смерти [5].

Инфекция вызванная вирусом SARS-Cov-2 может привести к развитию как острого, так и подострого/хронического миокардита, клинические симптомы которого развиваются в период от 1 до 4–6 месяцев после коронавирусной инфекции COVID-19 [5].

Пост ковидный миокардит может протекать в двух основных клинических формах — аритмической (суправентрикулярные нарушения ритма AV блокады высоких градаций) и декомпенсированной (систолическая дисфункция с дилатацией камер или без нее) [5].

На данный момент патогенетические механизмы вирусного миокардита включают в себя прямое цитотоксическое действие SARS-CoV-2, заключающееся в проникновении вируса в клетки миокарда через рецепторы ангиотензинпревращающего фермента-2 (АПФ-2), так и иммуноопосредованное, которое приводит к возникновению «цитокинового шторма» с гиперпродукцией цитокинов (интерлейкинов (IL) -6, IL-7, IL-22, IL-17 и др.) [6].

Терапевт или врач общей практики на уровне первичного звена медицинской помощи проводит анализ клинической картины и делает первичное клиническое предположение о дебюте миокардита. От того, насколько точно будут интерпретированы жалобы и трактованы симптомы, зависит, насколько своевременно начнётся лечение и какой объём специализированной помощи потребуется. В ряде случаев, на начальных стадиях, клиническая манифестация миокардита полностью отсутствует, диагноз устанавливается ретроспективно [5].

Согласно клиническим рекомендациям Российского кардиологического общества для пациентов, с подозрением на миокардит рекомендуется провести анализ уровня тропонина T или I в сыворотке крови, а также исследовать исходный уровень N-концевого фрагмента натрийуретического мозгового пропептида (NT-proBNP) в динамике [5]. Эхокардиография (ЭхоКГ) позволяет выявить дисфункцию левого желудочка и оценить её выраженность, особенно у пациентов с сохранённой фракцией выброса. Также рекомендуется проводить магнитно-резонансную томографию миокарда с контрастным усилением [5].

Золотым стандартом диагностики миокардита является эндомиокардиальная биопсия миокарда [5]. Биопсия служит возможностью поставить точный диагноз и обеспечивает возможность разработки конкретных биомаркеров, дальнейшего патогистологического анализа, который может быть полезен для разработки диагностического теста на миокардит SARS CoV-2. К сожалению, данный метод является малодоступным, дорогостоящим и требует определенных умений специалиста для проведения, а также учитывая исходную мозаичность поражения миокарда при данной патологии снижается чувствительность и ценность этого метода [8].

Ковид — ассоциированный миокардит, как правило, поражает людей молодого и среднего возраста, а это означает, что в группу риска попадают и женщины репродуктивного возраста, который согласно Всемирной организации здравоохранения, охватывает период от 15 до 49 лет [5]. Так как беременность с сопутствующим миокардитом и его последствиями осложняется нарушением маточно-плацентарно-плодового кровотока, синдромом отставания роста плода, а также нарушениями в работе сердца плода и матери, то в оказании помощи пациентам с пост ковидным синдромом важна роль первичного амбулаторного звена, обеспеченного подготовленным кадровым составом, диагностической, лечебной и реабилитационной базой [1]. В настоящее время существуют методические рекомендации по диспансеризации мужчин и женщин репродуктивного возраста с целью оценки репродуктивного потенциала, которые позволяют своевременно диагностировать возможные патологические состояния и вовремя оказать медицинскую помощь, определить тактику ведения данных пациентов и противопоказания к методам вспомогательных репродуктивных технологий.

Клинический случай

Пациентка К., 40 лет (08.09.1984 г). Обратилась в Центр планирования семьи за консультацией к акушеру-гинекологу с целью планирования беременности. Антимюллеров гормон 1, 19 нг/мл (сниженный овариальный резерв). В процессе подготовки к экстракорпоральному оплодотворению и прохождения протокола обследования, на электрокардиограмме 19.12.2022 выявлена полная блокада левой ножки пучка Гиса (электрокардиограмма год назад без патологии).

При дополнительном сборе анамнеза удалось выяснить, что осенью 2021 года пациентка перенесла коронавирусную инфекцию. Из симптомов пациентка отмечает лишь слабость на протяжении 7 дней. Наличие сопутствующей патологии пациентка отрицает. Через 3 месяца появились симптомы слабости, одышки при физической нагрузке, которые со временем прогрессировали. Позже присоединились перебои в работе сердца и боли за грудиной ноющего характера, не связанные с физической нагрузкой. При обследовании согласно клиническим рекомендациям по ведению пациентов с сердечной недостаточностью по данным эхокардиографии от 03.05.2023 была выявлена сниженная фракция выброса, которая составила 45 %. Анализируя дебют болезни, опираясь на данные эхокардиографии и диагностически значимые критерии: боль в груди, одышка, признаки аритмии (полная блокада левой ножки пучка Гиса по электрокардиограмме) — не исключается наличие миокардита вирусной этиологии. При анализе лабораторных данных уровень NT-pro BNP составил 149 пг/мг, уровень тропонина I и креатинкиназы MB в пределах референтных значений. При выполнении эхокардиографии в динамике от 24.04.2024 фракция выброса составила 48 %, а также выявлены фиброзные изменения в перегородке. В связи с данными изменения на эхокардиографии, повышением уровня натрийуретических пептидов, а также учитывая анамнез, не исключается пост ковидный миокардит. Выполнение эндомиокардиальной биопсии с целью верификации возбудителя и подтверждения диагноза «пост ковидный миокардит» технически невозможно в данном конкретном случае. Изменения в сердечно-сосудистой системе могут быть объяснены следующим механизмом: при снижении экспрессии рецепторов АПФ-2, при высокой вирусной нагрузке, падает уровень защитного ангиотензина (АТ) на фоне роста количества ангиотензин II, который вызывает активацию симпато-адреналовой системы, которая в свою очередь приводит к повышению артериального давления, вазоконстрикции, увеличению потребности миокарда в кислороде, развитию фиброза и к активации про воспалительных цитокинов. Дополнительное повреждение вызывает нарушение микроциркуляции, которое связано с прямым воздействием вируса. Это приводит к дисфункции эндотелия и дисбалансу между потребностью клеток миокарда в кислороде и его поступлением. Метаболический дисбаланс возникает из-за развития гипоксемии на фоне повреждения лёгочной паренхимы и эритроцитов. Это происходит из-за того, что вирус связывается с β-цепью гидроксигемоглобина, что приводит к диссоциации порфирина от железа и, как следствие, к возникновению гемической гипоксии [6].

Пациентке назначена терапия согласно клиническим рекомендациям по лечению сердечной недостаточности. После назначенной терапии по данным эхокардиографии от 05.09.2024 фракция выброса 58 %. Уровень NT-pro BNP 19.09.24 составил 116 пг/мл. За период наблюдения на фоне назначенной терапии отмечается положительная динамика с улучшением сократительной функции и нарастанием фракции выброса левого желудочка, а также снижением показателей NT-pro BNP. Клинически пациентка так же отмечает улучшение состояния. Решение о проведении вспомогательных репродуктивных технологий у данной пациентки осуществляется мультидисциплинарной командой и основывается на заключении врачебного консилиума.

Согласно приказу № 803н, вспомогательные репродуктивные технологии, а именно программа «отсроченного материнства» (криоконсервация полученных эмбрионов) при возможном сопутствующем пост ковидном миокардите данной пациентке не противопоказана, а вынашивание ребенка на данный момент противопоказано.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адамян Л.В., Вечорко В.И., Конышева О.В., Харченко Э.И., Дорошенко Д.А. Пост ковидный синдром в акушерстве и репродуктивной медицине. // Проблемы репродукции. — 2021. С. 30–40.
2. Арутюнов Г.П., Тарловская Е.И., Арутюнов А.Г. Клинические особенности пост ковидного периода. Результаты международного регистра «Анализ динамики коморбидных заболеваний у пациентов, перенесших инфицирование SARS-CoV-2 (АКТИВ SARSCoV-2)». Предварительные данные (6 месяцев наблюдения) // Российский кардиологический журнал. — 2021.
3. Бубнова М.Г., Аронов Д.М. COVID-19 и сердечно-сосудистые заболевания: от эпидемиологии до реабилитации // Пульмонология. — 2020. С. 688–699.
4. Зобова Д.А., Козлов С.А., Живечкова Е.А., Шишканова Т.И. Исходы родов у беременных с заболеваниями сердечно — сосудистой системы в Республики Мордовия // Тенденции развития науки и образования. — 2018.— С.15–20
5. Клинические рекомендации Общероссийской общественной организации «Российское кардиологическое общество» «Миокардиты». 2023 г. 112 с.

6. Сергеева В.А., Липатова Т.Е. Миокардит на фоне COVID-19: клинические особенности и медикаментозное лечение // Русский Медицинский Журнал. — 2022.С. 26–32.
7. Шляхто Е.В., Конради А.О., Арутюнов Г.П., Арутюнов А.Г., Баутин А.Е., Бойцов С.А., Виллевальде С.В., Григорьева Н.Ю., Дупляков Д.В., Звартау Н.Э., Козиолова Н.А., Лебедев Д.С., Мальчикова С.В., Медведева Е.А., Михайлов Е.Н., Моисеева О.М., Орлова Я.А., Павлова Т.В., Певзнер Д.В., Петрова М.М., Ребров А.П., Ситникова М.Ю., Соловьева А.Е., Тарловская Е.И., Трукшина М.А., Федотов П.А., Фомин И.В., Хрипун А.В., Чесникова А.И., Шапошник И.И., Явелов И.С., Яковлев А.Н. Руководство по диагностике и лечению болезней системы кровообращения в контексте пандемии COVID-19. Российский кардиологический журнал. 2020;25(3):3801.
8. Chow L.H. et al. Insensitivity of right ventricular endomyocardial biopsy in the diagnosis of myocarditis // J. Am. Coll. Cardiol. — 1989. C. 915–920.
9. COVID-19 rapid guideline: managing the long-term effects of COVID-19 // London: National Institute for Health and Care Excellence (UK). — 2020 Dec 18. (NICE Guideline, No. 188.)
10. Huang L., Zhao P., Tang D. et al. Cardiac involvement in patients recovered from COVID-2019 identified using magnetic resonance imaging // JACC Cardiovasc. — 2020. C. 2330–2339.
11. Knight D.S., Kotecha T., Razvi Y. et al. COVID-19: myocardial injury in survivors // Circulation. — 2020. C. 1120–1122.
12. Shaobo Shi, Mu Qin, Bo Shen Association of Cardiac Injury with Mortality in Hospitalized Patients With COVID-19 in Wuhan // China JAMA Cardiol / 2020.— C.802–810.
13. ProspJoy G., Artico J., Kurdi H. et al. Prospective case-control study of cardiovascular abnormalities 6 months following mild COVID-19 in healthcare workers // JACC Cardiovasc. — 2021.
14. Puntmann V.O., Carerj M.L., Wieters I. et al. Outcomes of cardiovascular magnetic resonance imaging in patients recently recovered from coronavirus disease 2019 (COVID-19) // JAMA Cardiol. — 2020. C. 1265–1273.
15. Zhang H.FuN., Zheng Y. Risk stratification of cardiac sequelae detected using cardiac magnetic resonance in late convalescence at the six-month follow-up of recovered COVID-19 patients [published online ahead of print, 2021 Apr 19], J. Inf. Secur. S0163-4453 (21) (2021) 00202— 4, https://doi.org/10.1016/j.jinf.2021.04.016.]

© Христофорова Валерия Александровна (lerakhristi@yandex.ru); Меркушева Елена Алексеевна (lenamerckusheva35@gmail.com);
Юрьева Светлана Владимировна (silviya5@yandex.ru); Канева Виктория Андреевна (Kanevavii@gmail.com);
Седунова Елизавета Максимовна (elizaveta-sedunova@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.47

ВАКУУМАСПИРАЦИОННАЯ ВЕНОЗНАЯ ТРОМБЭКТОМИЯ ИЗ ИЛИОФЕМОРАЛЬНОГО СЕГМЕНТА ПОД УЗИ НАВИГАЦИЕЙ (КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ)

VACUUM ASPIRATION VENOUS THROMBECTOMY FROM THE ILIOFEMORAL SEGMENT UNDER ULTRASOUND NAVIGATION (CLINICAL CASE)

A. Khuziakhmedov
I. Khalilov
E. Makarimov
I. Khalilov
D. Kuptsova

Summary. In vascular surgery, minimally invasive interventions are increasingly being developed. Minimally invasive surgeries have several advantages over open surgery. The purpose of this technique is to improve the results of surgical treatment of deep vein thrombosis, reduce the frequency of intraoperative and postoperative complications, and reduce the patient's hospital stay. For ultrasound control, we used the Hitachi Aloka Noblus ultrasound machine. The article describes the technique of vacuum aspiration venous thrombectomy from the iliofemoral segment under ultrasound navigation.

Keywords: deep vein thrombosis, floating thrombosis in the iliofemoral segment, pulmonary embolism, vacuum aspiration venous thrombectomy from the iliofemoral segment.

Хузиахмедов Анвар Наилевич
Кандидат медицинских наук, старший преподаватель, Казанский федеральный университет
ava23@mail.ru
Халилов Ильдар Галиевич
Кандидат медицинских наук, Казанский государственный медицинский университет
ilhalil@mail.ru
Макаримов Эльдар Шамильевич
врач отделения сосудистой хирургии, №1 ГАУЗ ГКБ №7 г. Казань
makarim@inbox.ru
Халилов Искандер Ильдарович
врач отделения сосудистой хирургии, №1 ГАУЗ ГКБ №7 г. Казань
iskan.halilov@gmail.com
Купцова Дарья Олеговна
врач-ординатор, Казанский государственный медицинский университет
dashakuptsova1628@mail.ru

Аннотация. В сосудистой хирургии все больше развиваются малоинвазивные вмешательства. Малоинвазивные хирургические операции имеют ряд преимуществ перед открытой хирургией. Цель данной методики — улучшить результаты хирургического лечения тромбозов глубоких вен, уменьшить частоту интраоперационных и послеоперационных осложнений, а также сократить койко-день пребывания пациента в стационаре. Для ультразвукового контроля нами использовался ультразвуковой аппарат Hitachi Aloka Noblus. В статье описана методика вакуум аспирационной венозной тромбэктомиия из илиофеморального сегмента под узи навигацией.

Ключевые слова: тромбоз глубоких вен, флотирующий тромбоз в илиофеморальном сегменте, тромбоэмболия легочной артерии, вакуум аспирационной венозной тромбэктомии из илиофеморального сегмента.

Введение

Тромбоз глубоких вен — распространенное заболевание в сосудистой хирургии, ведущее к жизнеугрожающим осложнениям, наиболее опасным из которых является тромбоэмболия легочной артерии (ТЭЛА). Почти 2/3 случаев венозных тромбоэмболических осложнений приходятся на тромбозы глубоких вен, причем к массивной тромбоэмболии легочной артерии приводят поражения в илиофеморальном сегменте. Острые тромбозы глубоких вен являются часто встречаемыми заболеваниями, и встречаются у 10–20 % населения. У пациентов с данным диагнозом смертность составляет от 2 до 5 % при поражении в проксимальном сегменте. Тромбоэмболия легочной артерии в 6,2 % случаев приводит к летальному исходу [1, 2, 3]. Различные методики открытой и полуоткрытой тромбэктомии известны давно, но все они имеют существенные недостатки, не позволяющие сократить койко-день пребывания пациента в стационаре, раннюю активизацию пациента, а также местные послеоперационные осложнения. Учитывая эти данные, проблема тромбоза глубоких вен с флотацией головки тромба является актуальной на сегодняшний день.

Материалы и методы

Пациент Д., 53 года, поступил в отделение сосудистой хирургии ГКБ №7 г. Казани 26.09.2023 г. в экстренном порядке, с жалобами на боли и отек левой нижней конечности. Диагноз при поступлении: Острый тромбоз глубоких вен левой нижней конечности с флотацией головки тромба в ОБВ на протяжении 7 сантиметров (Рисунок 1). По жизненным показаниям выполнена операция: Вакуум аспирационная венозная тромбэктомия из подвздошно-бедренного сегментов слева.

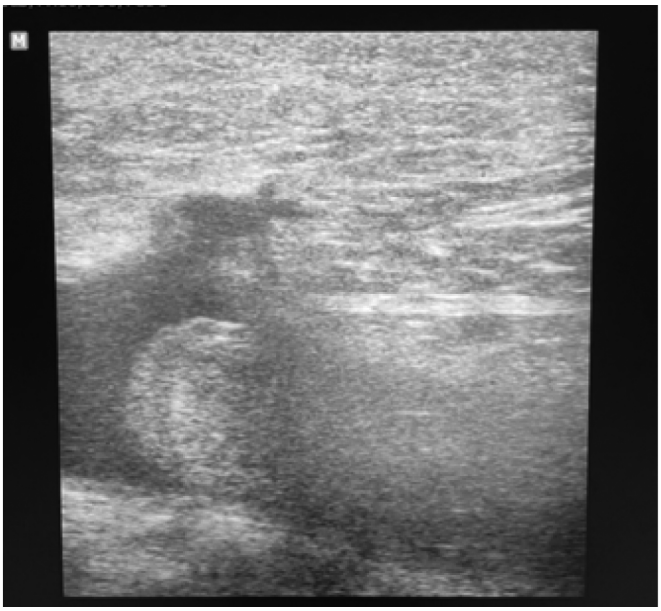


Рис. 1. Интраоперационный снимок флотирующего тромба в общей бедренной вене

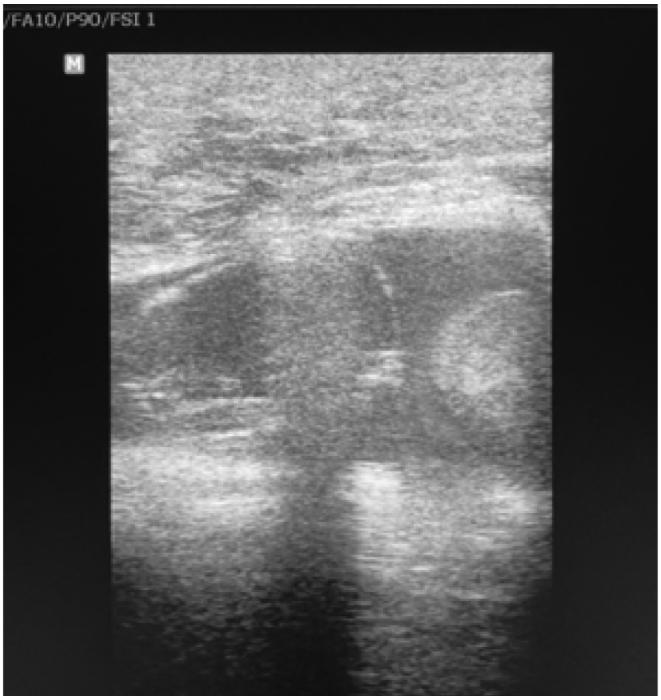


Рис. 2. Интраоперационный снимок раздутого баллонного катетера Фогарти выше головки тромба

Ход операции: под местной анестезией, под контролем УЗИ навигацией, выполнена пункция проксимального отдела ОБВ, в которую установили интродъюсер (Рисунок 3). Через интродъюсер, под контролем УЗИ навигации, в наружную подвздошную вену завели баллонный катетер Фогарти, который раздули на весь просвет наружной подвздошной вены (Рисунок 2). Под местной анестезией, в пораженную поверхностную бедренную вену, под контролем УЗИ навигации, установили интродъюсер большого диаметра, через который в общую бедренную вену завели аспирационную трубку, подключенную к отсосу высокого давления. Выполнили вакуум аспирационную тромбэктомию из общей бедренной и поверхностной бедренной вен слева. Выполнили интраоперационный УЗИ контроль подвздошно-бедренного сегмента. Наружная подвздошная, общая бедренная, глубокая бедренная вены проходимы, данных за остаточные явления тромбоза нет (Рисунок 4, 5). Сдули, и извлекли, оба баллонных катетера, извлекли оба интродъюсера. Гемостаз мест пункций пальцевым прижатием (Рисунок 6).

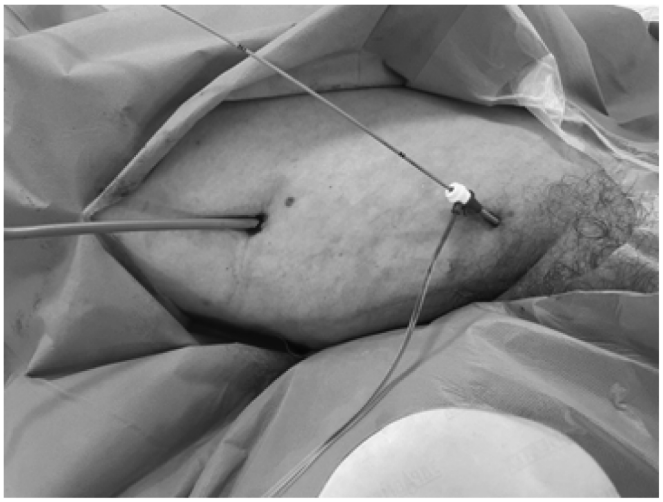


Рис. 3. Установленные интродъюсеры в пораженный сегмент

В послеоперационном периоде пациент получал следующее лечение: Антикоагулянтную терапию (фраксипарин 0,6 мг х 2 раза в день п\к). 27.09.2023 г. пациенту выполнено контрольное УЗДГ вен нижних конечностей, по данным которого нет данных за ретромбоз. 30.09.2023 г. пациент выписан в удовлетворительном состоянии под наблюдение хирурга по месту жительства.

Результаты и обсуждение

Отслежены результаты лечения пациента Д. 53 года с диагнозом: «Острый тромбоз глубоких вен слева с флотацией тромба в общей бедренной вене 7 сантиметров». Через 3, 6, 12 месяцев пациенту было выполнено УЗДС вен обеих нижних конечностей и илиокавального сегмента, по данным которого проходимость подвздошно-

Рис. 4. УЗДС контроль после тромбэктомии, сафенофеморальное соустье и общая бедренная вена окрашиваются полностью

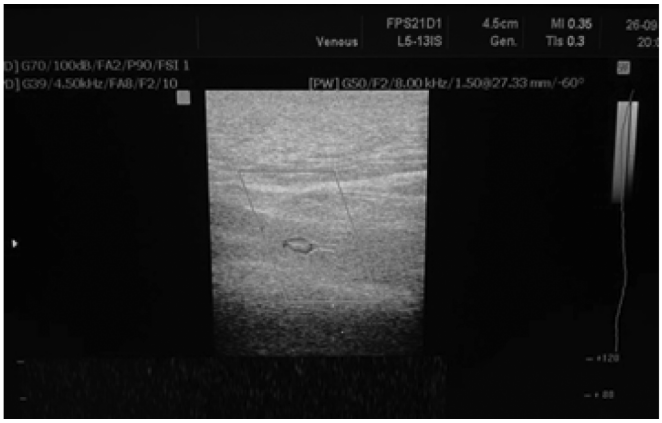


Рис. 5. УЗДС контроль после тромбэктомии, дистальный отдел общей бедренной вены окрашивается полностью

Рис. 6. Места пункций общей бедренной и поверхностной бедренной вен

бедренного сегмента не нарушена. Тромбоэмболия легочной артерии является наиболее распространенным и грозным осложнением илиофеморального флеботромбоза, кроме того, для 15–20% пациентов может оказаться фатальной. Однако даже нефлотирующий тромбоз глубоких вен ведет к посттромбофлебитической болезни, развитию и прогрессированию хронической венозной недостаточности. При флотирующем флеботромбозе в илиофеморальном сегменте широко применяются открытые хирургические методики для лечения и профилактики тромбоэмболии легочной артерии, в настоящее время распостранены и эндоваскулярные методы. [4,5,6]

Широко распространенной методикой рентген эндоваскулярной профилактики массивной и субмассивной формы ТЭЛА является имплантация кава-фильтра в нижнюю полую вену. Однако данный метод имеет ряд недостатков и даже послеоперационных осложнений. Существенным недостатком данной методики является удаление имплантированного кава-фильтра. При длительной имплантации кава -фильтра у пациентов может развиться синдром нижней полой вены, перфорацию стенок нижней полой вены, тромбоз глубоких вен с последующей посттромбофлебитической болезнью и даже миграция фрагментов кава-фильтра в различные органы. [7,8]

Открытая тромбэктомия позволяет полностью удалять флотирующие фрагменты тромбы и восстанавливать просвет пораженной вены, но ограничена высокими рисками интраоперационной ТЭЛА, анатомическими особенностями расположения вены, риском анестезиологического пособия и послеоперационными местными осложнениями. [9,10,11,12]

Таким образом, у данной группы пациентов возрастает вероятность ретромбозов, увеличиваются риски развития посттромбофлебитической болезни, появления и прогрессирования симптомов хронической венозной недостаточности, развития тазового венозного полнокровия как у мужчин, так и у женщин. [13]

Преимущества предлагаемой методики заключаются в устранении рисков развития и усугубления почечной недостаточности, отсутствии необходимости ангиографической установки и наличия специально обученной хирургической (эндоваскулярной) бригады хирургов, в отсутствии рентгеновского облучения медицинского персонала, и самого пациента, а также отсутствие местных осложнений и активизации пациента в день операции, что позволяет сократить койко-день пребывания пациента в стационаре и снизить риск развития посттромбофлебитической болезни в отдаленном периоде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goldwater S.Z., Bounameaux H. Pulmonary embolism and deep vein thrombosis. Lancet. 2012;379(9828):1835–1846. DOI: 10.1016/S0140-6736(11)61904-1.
2. Бернштейн Л.Л. Тромбоэмболия лёгочной артерии: принципы диагностики, антитромботическая терапия и профилактика. Кардиология и ангиология. 2013;43(3):34–44. [Bernstein LL. Pulmonary thromboembolism: diagnostic principles, antithrombotic therapy, and prophylaxis. Cardiology and angiology. 2013;43(3):34-44. (In Russ.)]
3. Кириенко А.И., Андрияшкин В.В., Леонтьев С.Г., Миронов А.В. Тромбоэмболия легочной артерии. Кардиология. 2015;712–722. [Kirienko A.I., Andriyashkin V.V., Leontiev S.G., Mironov A.V. Pulmonary embolism. Cardiology. 2015;712–722. (In Russ.)]
4. Robbins I.M., Pugh M.E., Hemnes A.R. Update on chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Trends Cardiovasc Med. 2017;27(1):29–37. DOI: 10.1016/j.tcm.2016.05.010.
5. Бокерия Л.А., Затевахин И.И., Кириенко А.И. Российские клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике венозных тромбоэмболических осложнений (ВТЭО). Флебология. 2015;9(4–2):1–52. [Bokerija L.A., Zatevahin I.I., Kirienko A.I. Rossijskie klinicheskie rekomendacii po diagnostike, lecheniju i profilaktike venoznyh trombojembolicheskih oslozhnenij (VTJeO). Flebologija. 2015;9(4–2):1–52. (In Russ.)]
6. Imberti D., Ageno W., Manfredini R., Fabbian F., Salmi R., Duce R., Gallerani M. Interventional treatment of venous thromboembolism: a review. Thromb Res. 2012;129(4):418–425. DOI: 10.1016/j.thromres.2011.11.003.
7. Raju S., Tackett P.Jr., Neglen P. Reinterventions for nonocclusive iliofemoral venous stent malfunctions. J. Vasc Surg. 2009;49(2):511-8. DOI: 10.1016/j.jvs.2008.08.003.
8. Clements W. Inferior vena cava filters in the asymptomatic chronically occluded cava: to remove or not remove? Cardiovasc Intervent Radiol. 2019;42(2):165–168. DOI: 10.1007/s00270-018-2077-y.
9. Халилов И.Г. Трансюгулярная антеградная венозная тромбэктомия из илиокавального и бедренного сегментов с использованием устройства для удаления сгустков крови и инородных тел из сосудов и полых органов — тромбоэкстрактора (ТРЭКС). Патент на изобретение РФ № 2743271. МПК: A61B17/00 A61B17/22 от 16.02.2021. [Khalilov I.G. Transjugular antegrade venous thrombectomy from the caval and femoral segments using a device for removing blood clots and foreign bodies from vessels and hollow organs — a thromboextractor (TREX). Patent for invention RF No. 2743271. MPK: A61B17/00 A61B17/22 issued at 16.02.2021. (In Russ.)]
10. Руководство по сосудистой хирургии с атласом оперативной техники 2-е издание. Белов Ю.В. М.: ООО «Медицинское информационное агентство»; 2011; 441 с. [Rukovodstvo po sosudistoj hirurgii s atlasom operativnoj tehniki 2-e izdanie. Belov Ju.V. OOO «Medicinskoe informacionnoe agentstvo»; 2011; 441 p. (In Russ.)]
11. Mühlberger D., Wenkel M., Papapostolou G., Mumme A., Stücker M., Reich-Schupke S., Hummel T. Surgical thrombectomy for iliofemoral deep vein thrombosis: Patient outcomes at 8.5 years. PLoS One. 2020;15(6): e0235003. DOI: 10.1371/journal.pone.0235003.
12. Кунгурцев В.В., Саранюк Р.И., Кунгурцев Е.В., Чернов А.А., Зверева Л.С., Янус В.М. Тромбэктомия при остром подвздошно-бедренном тромбозе в профилактике ТЭЛА. Ангиология и сосудистая хирургия. 2019;25(4):181–187. [Kungurtsev V.V., Saraniuk R.I., Kungurtsev E.V., Chernov A.A., Zvereva L.S., Ianus V.M. Thrombectomy for acute iliofemoral thrombosis in prevention of pulmonary embolism. Angiol Sosud Khir. 2019;25(4):181-187. (In Russ.)] DOI: 10.33529/ANGIO2019422.
13. Kahn S.R., Galanaud J.P., Vedantham S., Ginsberg J.S. Guidance for the prevention and treatment of the post-thrombotic syndrome. J. Thromb Thrombolysis. 2016;41(1):144–153. DOI: 10.1007/s11239-015-1312-5.

© Хузиахмедов Анвар Наилевич (ava23@mail.ru); Халилов Ильдар Галиевич (ilhalil@mail.ru);
Макаримов Эльдар Шамильевич (makarim@inbox.ru); Халилов Искандер Ильдарович (iskan.halilov@gmail.com);
Купцова Дарья Олеговна (dashakuptsova1628@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2025.04.48

ОСОБЕННОСТИ ПАЦИЕНТОВ С ХРОНИЧЕСКОЙ СЕРДЕЧНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ С НИЗКОЙ ФРАКЦИЕЙ ВЫБРОСА С ПОЗДНИМИ ПОТЕНЦИАЛАМИ ЖЕЛУДОЧКОВ

FEATURES OF PATIENTS WITH CHRONIC HEART FAILURE WITH LOW EJECTION FRACTION AND LATE VENTRICULAR POTENTIALS

A. Tsareva
V. Razin

Summary. This paper presents a comparison of blood parameters, type and frequency of heart rhythm disturbances, structural and functional parameters of the heart in patients with and without late ventricular potentials with chronic heart failure with low ejection fraction. 112 patients with chronic heart failure with low ejection fraction were examined. In the study group, 70.5 % of patients had registered late ventricular potentials. Patients with registered late ventricular potentials had significantly higher total cholesterol levels (p=0,039), larger left ventricular end-diastolic volume (p=0,021), and significantly lower ejection fraction (p=0.011) and shortening fraction (p=0,049). A direct relationship was found between the Total QRS duration and the number of ventricular tachycardia episodes per day (Kendall Tau Correlations=0,31, p=0,019).

Keywords: chronic heart failure, ventricular tachycardia, late ventricular potentials, ejection fraction, signal-averaged ECG.

Царева Анастасия Александровна
Аспирант,
ФГБОУ ВО Ульяновский государственный университет
nastasya_zareva@mail.ru
Разин Владимир Александрович
Доктор медицинских наук, профессор,
ФГБОУ ВО Ульяновский государственный университет
razin1975@mail.ru

Аннотация. В данной работе представлено сравнение показателей крови, вида и частоты нарушений ритма сердца, структурно-функциональных параметров сердца у пациентов с наличием и отсутствием поздних потенциалов желудочков с хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса. Обследовано 112 пациентов с хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса. В исследуемой группе у 70,5 % пациентов были зарегистрированы поздние потенциалы желудочков. Пациенты с зарегистрированными поздними потенциалами желудочков имели значимо более высокий уровень общего холестерина (p=0,039), больший конечно-диастолический объем левого желудочка (p=0,021) и значимо ниже фракция выброса (p=0,011) и фракция укорочения (p=0,049). Выявлено прямая связь продолжительности Total QRS и количеством эпизодов желудочковой тахикардии в сутки (Kendall Tau Correlations=0,31, p=0,019).

Ключевые слова: хроническая сердечная недостаточность, желудочковая тахикардия, поздние потенциалы желудочков, фракция выброса, сигнал-усредненная ЭКГ.

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) — это синдром, связанный с низким качеством жизни, значительным использованием ресурсов здравоохранения и преждевременной смертностью, имеющий тенденцию к увеличению распространенности среди населения [1-3]. При этом у пациентов с ХСН системный ответ на снижение систолической функции повышает уровни норадреналина, ангиотензина, альдостерона, эндотелина, вазопрессина и цитокинов. Огромное значение имеет активация ренин-ангиотензин-альдостероновой системы и симпатической нервной системы. Эти нейрогуморальные факторы не только вызывают периферическую вазоконстрикцию, задержку натрия и жидкости, а, следовательно, увеличение гемодинамической нагрузки на желудочки, но и оказывают прямое токсическое действие на миокард, стимулируя фиброз и апоптоз, что приводит к прогрессированию ремоделирования сердца и нарушению его функции. Кроме миокардиального повреждения активация нейрогуморальных систем оказывает неблагоприятное влияние и на другие органы формируя патофизиологический «порочный» круг и приводя ко многим клиническим проявлениям ХСН, в том числе электрической нестабильности миокарда [4–6]. Одним из маркеров электрической неоднородности миокарда являются поздние потенциалы желудочков (ППЖ).

Электрическая нестабильность миокарда у пациентов с ХСН полиэтиологична, но объединяет все имеющаяся морфологическая неоднородность сердца, характеризующаяся чередованием функционально полноценных кардиомиоцитов, большого количества соединительной ткани и морфологически измененных кардиомиоцитов. Такая электрическая неоднородность может служить субстратом для формирования жизнеугрожающих желудочковых нарушений ритма сердца, в том числе желудочковой тахикардии (ЖТ) [7–9].

Цель исследования

Провести сравнение показателей крови, вида и частоты нарушений ритма сердца, структурно-функцио-

нальных параметров сердца у пациентов с наличием и отсутствием поздних потенциалов желудочков с хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса (ХСНнФВ), на основе полученных данных рассчитать риск возникновения желудочковой тахикардии.

Материалы и методы исследования

В ходе работы было обследовано 112 пациентов с ХСНнФВ в возрасте 60,6±9,9 лет, мужчины составили 74 % (n=83), женщины 26 % (n=29). Диагноз ХСНсФВ устанавливался на основании Клинических рекомендаций МЗ РФ 2020 г. [10].

В исследование были включены пациенты с симптоматической сердечной недостаточностью, на фоне терапии ХСН в течение 6 предшествующих месяцев (ингибиторы ангиотензин превращающего фермента или антагонисты рецепторов ангиотензина-2, β–адреноблокаторы, антагонисты минералокортикоидных рецепторов, диуретики), фракция выброса левого желудочка ≤40%, уровень NT–proBNP≥125пг/мл. Критериями исключения являлись: расчетная скорость клубочковой фильтрации (рСКФ) <30 мл/мин/1,73м^2, сахарный диабет 1 типа, необходимость и последующее направление пациента на хирургические методы лечения, отсутствие согласия на исследование.

Лабораторные исследования включали: общий анализ крови, биохимический анализ крови, определение уровня NT–proBNP. Оценивали количество гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, скорость оседания эритроцитов, уровень креатинина, мочевины, аланинаминотрансферазы, аспартатаминотранферазы, билирубина, общего холестерина, липопротеидов низкой плотности, липопротеидов высокой плотности, триглицеридов, концентрация калия, натрия, хлора, уровень глюкозы.

Всем пациентам, включенным в исследование проведена запись сигнал усредненной ЭКГ (СУ-ЭКГ) на аппарате Поли–Спектр–8/ЕХ. Критериями наличия ППЖ были (Simson): TotalQRS>114 мс, LAS40>38 мс, RMS40<25 мкВ. Присутствие минимум двух из трех перечисленных критериев свидетельствовало об обнаружении ППЖ [11]. Всем пациентам проведено суточное мониторирование электрокардиограммы на аппарате Холтер-монитор ЭКГ (КТ-07-3/12). Всем пациентам проводилась трансторакальная эхокардиоскопия (ЭХО–КС) с оценкой ФВ по методу дисков (Simpson).

Статистический анализ полученных данных проводился с использованием программ для компьютеров с ОС Windows STATISTICA 10 (StatSoft). Данные представлены в виде медианы (Me) с 25, 75 процентилями (Me [Q1; Q3]). Для сравнения групп применялся — U–критерий Манна Уитни. Применялся корреляционный анализ Kendall Tau для непараметрических данных.

Результаты

При анализе данных СУ-ЭКГ было выявлено, что в исследуемой группе 112 пациентов с ХСНнФВ у 79 (70,5 %) были зарегистрированы ППЖ и у 33 (29,5 %) пациентов ППЖ отсутствовали. В дальнейшем пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от наличия ППЖ (группа ППЖ+ и группа ППЖ–). В группах с ППЖ и без ППЖ показатели общего анализа крови были сопоставимы (p≥0,05). Однако, при сравнении показателей биохимического анализа крови были выявлено что у пациентов с ХСНнФВ с ППЖ значимо более высокий уровень общего холестерина 4,18 (3,33; 4,75) ммоль/л (p=0,039), по сравнению с пациентами с ХСНнФВ, у которых ППЖ не зарегистрированы 3,1 (2,93; 4,70) ммоль/л. По остальным биохимическим показателям крови статистически значимых различий в группах ППЖ+ и ППЖ– не было выявлено (p≥0,05).

При сравнении показателей ЭХО-КГ у пациентов с ХСНнФВ в зависимости от регистрации ППЖ были получено что у пациентов с ППЖ+ значимо больше конечно-диастолический объем левого желудочка (КДО ЛЖ) и значимо ниже фракция выброса (ФВ) и фракция укорочения (ФУ) (таблица 1), остальные показатели статистически не различались (p≥0,05).

Таблица 1.

Сравнение некоторых структурно-функциональных показателей сердца у пациентов с сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса в зависимости от регистрации поздних потенциалов желудочков

Параметр, единицы измерения	ППЖ «+» n=79	ППЖ «–» n=33	p
КДО ЛЖ, мл	212,0 (166; 251)	184,0 (159; 224)	p = 0,021
ФВ, %	35,0 (32; 39)	36,0 (35; 40)	p = 0,011
ФУ, %	17,0 (15; 20)	18,0 (17; 20)	p = 0,049
ППЖ «–» — пациенты с отсутствием признака поздних потенциалов желудочков; ППЖ «+» — пациенты с наличием признака поздних потенциалов желудочков			

Концентрация NT-proBNP в сравниваемых группах также оказалась сопоставима, так у пациентов ППЖ+ NT-proBNP = 1956,0 (1182; 3256) пг/мл, у пациентов ППЖ– NT-proBNP = 1893,0 (1236; 2702) пг/мл (p = 0,964).

При анализе суточного мониторирования ЭКГ пациентов с сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса зависимости между частотой коротких эпизо-

дов желудочковой тахикардии (ЖТ) за сутки и наличием ППЖ выявлено, что у пациентов ППЖ+ чаще регистрировались эпизоды ЖТ –2,114 в сутки, у пациентов отсутствием ППЖ частота эпизодов ЖТ = 0,667 в сутки, но различие оказалось статистически незначимым (рисунок 1).

Также у пациентов с ППЖ+ выявлена большая частота желудочковой экстрасистолии за сутки 676,0 (136; 2523) по сравнению с группой ППЖ-, в которой желудочковая экстрасистолия составляла 246,0 (23; 905). Однако, статистически значимого различия эти показатели не достигли (p=0,249). У пациентов с ППЖ «+» отмечаются с большие значения QTc = 441,0 (387; 476) мс, относительно группы пациентов с отсутствием поздних потенциалов желудочков (p=0,0003).

Проведена оценка корреляция для непараметрических критериев показателей СУ-ЭКГ с нарушениями ритма у пациентов с сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса, в результате чего выявлена связь между TotalQRS мс и количеством ЖТ/сутки (Kendall Tau Correlations=0,31, p=0,019), определена связь между LAS40 мс и количеством ЖЭс/сутки (Kendall Tau Correlations=–0,127, p=0,050), между LAS40, мс и количеством ЖТ/сутки (Kendall Tau Correlations=–0,153, p=0,018). Также выявлена корреляция концентрации NT-proBNP (Kendall Tau=0,32, p <0,0001), ФВ ЛЖ (Kendall Tau=–0,29, p <0,0001), QTc (Kendall Tau=0,36, p <0,0001), с частотой регистрации желудочковой тахикардии по данным суточного мониторирования ЭКГ.

На основании полученных данных на языке программирования Python (версия 3.11.0) создана программа ЭВМ «Расчет риска возникновения эпизодов желудочковой тахикардии у пациентов с хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса» (номер регистрации (свидетельства): 2024685301, дата регистрации: 28.10.2024), Программа ЭВМ обучаемая на вводимых данных с использованием логистической регрессии, предсказывает вероятность возникновения желудочковой тахикардии на основе введенных значений у пациентов с хронической сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса левого желудочка (ФВ менее 40 %). В строки программы вводится следующие показатели: возраст, фракция выброса, уровень NT-proBNP, QT-интервал, показатели TotalQRS, LAS40 и RMS40. Пользователь (врач) видит результат как бинарное предсказание (высокий/низкий риск), так и вероятностное предсказание (например, вероятность 0,85 или 85 %), если она выше порога (0,5 или 50 %), программа считает риск высоким, иначе — низким. Вероятность возникновения ЖТ рассчитывается для конкретного пациента. Во всей исследуемой группе расчетный риск возникновения ЖТ (Me [Q1; Q3]) — 0,07 (0,03; 0,92). Число пациентов с ри-

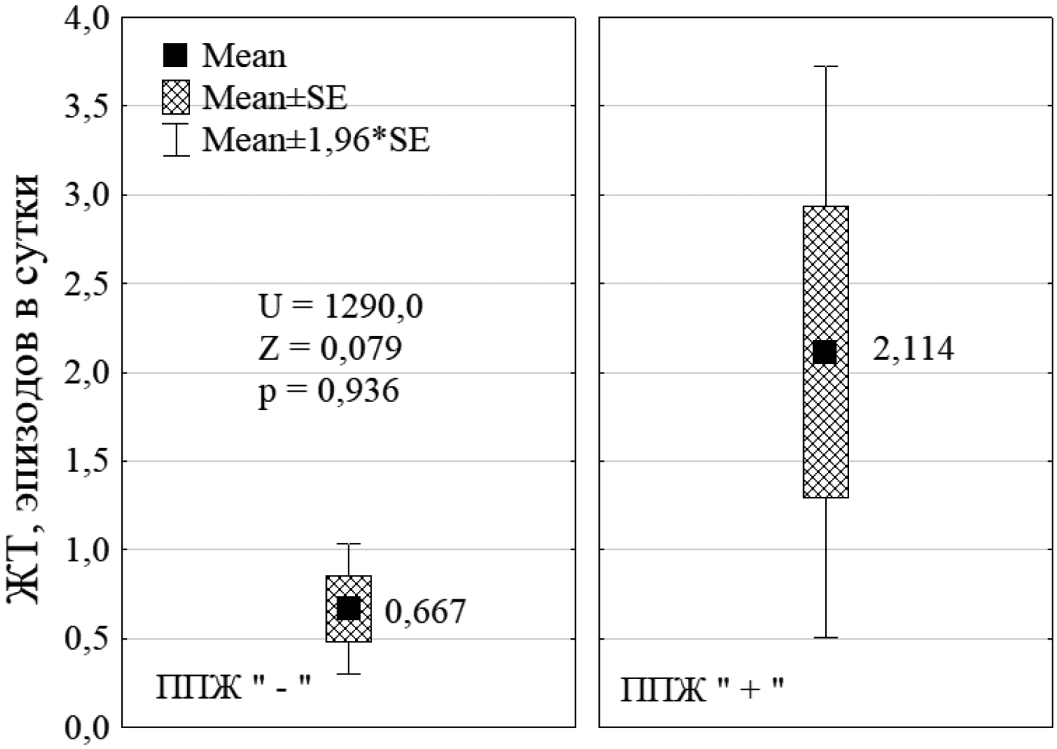


Рис. 1. Частота эпизодов желудочковой тахикардии в сутки у пациентов с сердечной недостаточностью с низкой фракцией выброса в зависимости от регистрации поздних потенциалов желудочков

Примечания: ППЖ– — пациенты с отсутствием признака поздних потенциалов желудочков; ППЖ+ — пациенты с наличием признака поздних потенциалов желудочков

ском ЖТ ≥50 % составило 42 (37,5 %). При оценке расчетного риска возникновения ЖТ у пациентов в зависимости от наличия ППЖ различий не было (Mann-Whitney U=1184, p=0,68). Высокий расчетный риска возникновения ЖТ был выявлен у 29 пациентов с зарегистрированными ППЖ (37,2 %), и у 13 пациентов без ППЖ (39,4 %) (χ2=0,07; p=0,79). Таким образом, вероятность возникновения эпизодов ЖТ у пациентов с ХСНнФВ практически не зависела от факта регистрации ППЖ, а определялась комплексом факторов, таких как показатели сигнал-усредненной ЭКГ, тяжестью нарушения насосной функции (ФВ), концентрацией NT-proBNP.

Выводы

Пациенты с зарегистрированными поздними потенциалами желудочков имели значимо более высокий уровень общего холестерина (p=0,039), больший конечно-диастолический объем левого желудочка (p=0,021) и значимо ниже фракция выброса (p=0,011) и фракция укорочения (p=0,049). Выявлено прямая связь продолжительности Total QRS и количеством эпизодов желудочковой тахикардии в сутки (Kendall Tau Correlations=0,31, p=0,019). Выявлена обратная связь между LAS40, мс и количеством желудочковых экстрасистол в сутки (Kendall Tau Correlations=–0,127, p=0,050), между LAS40, мс и количеством количеством эпизодов желудочковой тахикардии в сутки (Kendall Tau Correlations=–0,153, p=0,018). На основе анализа данных при использовании логистической регрессии в обучаемой программе ЭВМ, получены данные, что у пациентов с ХСНнФВ вероятность возникновения ЖТ определяется комплексом параметров, таких как показатели СУ-ЭКГ, QT-интервал, концентрацией NT-proBNP, который, по мнению некоторых исследователей является независимым предиктором внезапной сердечной смерти [12], выраженностью снижения насосной функции левого желудочка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проспективное наблюдательное многоцентровое регистровое исследование пациентов с хронической сердечной недостаточностью в Российской Федерации (ПРИОРИТЕТ-ХСН): обоснование, цели и дизайн исследования / Е.В. Шляхто, Ю.Н. Беленков, С.А. Бойцов и др. // Российский кардиологический журнал. 2023.— № 28 (6). — С. 7–14. — DOI: 10.15829/1560–4071-2023-5456.
2. Хроническая сердечная недостаточность с сохраненной фракцией выброса: современное состояние проблемы /А.А. Щендрыгина, К.А. Жбанов, Е.В. Привалова и др. // РФК. — 2021. — №3. — С.476–483.
3. Dunlay S.M. Epidemiology of heart failure with preserved ejection fraction / S.M. Dunlay, V.L. Roger, M.M. Redfield // Nat Rev Cardiol. — 2017. — №14 (10). — P.591–602.
4. Диагностика и лечение хронической и острой сердечной недостаточности. Евразийский Кардиологический Журнал. — 2014. №2. — С.4–37
5. Визирь В.А. Иммуновоспалительная активация как концептуальная модель формирования и прогрессирования сердечной недостаточности / В.А. Визирь, А.Е. Березин //Терапевтический архив. — 2000. — №4.— С.77–90.
6. Murgatroyd F.D. Camm A.J. Atrial arrhuthmias. Lancet. 1993; 341: 1317–1322
7. Желудочковые нарушения ритма сердца и внезапная сердечная смерть / Н.Ю. Миронов, Л.Ю. Лайович, С.П. Голицын. — Москва: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2018.— 112 с.
8. Vermeulen J.T. Mechanisms of arrhythmias in heart failure // J. Cardiovasc. Electrophysiol. — 1998. — №9. — P.208–221
9. Aistrup G.L. Arrhythmia triggers in heart failure: The smoking gun of [Ca^{2+}] i dysregulation. / G.L. Aistrup, C.W. Balke, J.A. Wasserstrom //Heart Rhythm. — 2011. — №8. — P.1804–1808.
10. Хроническая сердечная недостаточность: клинические рекомендации. — 2020.— 34 с. — Текст: электронный. — URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/recomend/156_1 (дата обращения 7.02.2025).
11. Потапова Н.П. Современные неинвазивные методы оценки и прогнозирования развития потенциально опасных и угрожающих жизни аритмий: состояние проблемы и перспективы развития / Н.П. Потапова, Г.Г. Иванов, Н.А. Буланова // Кардиология. — 1997. — №2.— С.70–75.
12. Gong H. Prognostic value of brain natriuretic peptide in patients with heart failure and reserved left entricular systolic function / H. Gong, X. Wang, Y. Ling, Y. Shi, H. Shi // Exp Ther Med. — 2014. — №7(6). — P.1506–1512.

© Царева Анастасия Александровна (nastasya_zareva@mail.ru); Разин Владимир Александрович (razin1975@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

Akhmetzyanov F. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Kazan State Medical University; Head of the surgical clinic, LDK2 GAUZ «Republican Clinical Oncological Dispensary», Republic of Tatarstan, Kazan

Akhmetzyanova R. — oncologist, GAUZ «Republican Clinical Oncological Dispensary» Republic of Tatarstan, Kazan

Amosov V. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Ankhimova L. — graduate student, Kazan State Medical University; oncologist, GAUZ «GKB No. 7 MZ RT named after M.N. Sadykov», Kazan

Barova N. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kuban State Medical University

Beloglazov V. — Doctor of Medical Sciences, Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Order of Red Banner of Labor S.I. Georgievsky Medical Institute, Simferopol

Berezkina T. — «St. Petersburg State Pediatric Medical University

Biryukov D. — Junior Researcher, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University» Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod

Bo Yang — graduate student, Bauman Moscow State Technical University

Bogomolova Yu. — Tver State Medical University

Chernykh V. — Postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University» Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod

Chubovskiy A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Danilov M. — Candidate of Medical Sciences (Ph.D.), head of the Coloproctology Department, A.S. Loginov Moscow Clinical Scientific Centre

Dmitrovich V. — Corresponding Member, Far Eastern National Academy of Sciences, Khabarovsk

Dyachenko L. — Postgraduate student, Siberian Federal University (SibFU)

Our authors

Emelyanov E. — graduate student, Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov

Ermolaev A. — graduate student, ITMO university, Saint-Petersburg

Evlakhova I. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Evtushenko A. — Federal State Institution «Central Military Clinical Hospital named after P.V. Mandryka», Moscow

Eyvazov Z. — Kuban State Medical University

Filatova O. — «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Fischev S. — Doctor of Medical Sciences, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Gadzhieva M. — Dagestan State Medical University

Gamazin V. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State University named after acad. I.G. Petrovskogo

Gao Tianci — graduate student, Bauman Moscow State Technical University

Garunov O. — Dagestan State Medical University

Gasbanova Z. — Dagestan State Medical University

Gavrukov D. — Surgeon, Head of Surgical Department № 4, Yudin City Clinical Hospital, Moscow

Gaydukov D. — graduate student, MIREA — Russian Technological University

Gessen P. — Postgraduate student, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Golovkov E. — Petersburg State Railway Transport University of Emperor Alexander I, Saint Petersburg

Golubcov A. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Oncologist, Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky», Moscow

Goncharov K. — Postgraduate student, Financial University under the Government of Russian Federation

Goncharov N. — Federal State Institution «Central Military Clinical Hospital named after P.V. Mandryka», Moscow

Gorbunov K. — Postgraduate student, ITMO University

Goryachkin B. — candidate of technical Sciences, associate Professor, Bauman Moscow State Technical University

Gurenko V. — Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Ivanchenkova O. — Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Bryansk state engineering-technological University

Ivanov S. — Associate Professor, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, ITMO University

Kanaev A. — Bauman Moscow State Technical University

Kaneva V. — Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University» (Arkhangelsk)

Kapralov S. — Doctor of Medicine Sciences, associate professor, State Medical University named after V.I. Razumovsky

Kashikhin A. — Private University «Reaviz», Saint Petersburg

Katsova G. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Orenburg State Medical University

Khabarov M. — Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Khalilov I. — Candidate of Medical Sciences, Kazan State Medical University

Khalilov I. — Doctor of the Vascular Surgery Department №1, GAUZ City Clinical Hospital №7, Kazan

Khovansky I. — Doctor of Biological Sciences

Khristoforova V. — Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University» (Arkhangelsk)

Khuziakhmedov A. — Candidate of Medical Sciences, Senior Lecturer, Kazan Federal University

Kivva A. — Doctor of Medical Sciences, professor, Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Klimov A. — Candidate of Medical Sciences, associate Professor «Saint Petersburg state pediatric medical University»

Knyazev O. — Doctor of Medical Sciences (M.D.), Professor, head of the Intestinal Pathology Department, A.S. Loginov Moscow Clinical Scientific Centre

Knyazev V. — graduate student, MSUT «STANKIN»

Kokorin V. — Federal State Institution «Central Military Clinical Hospital named after P.V. Mandryka», Moscow; Federal State Budgetary Institution «National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov», Moscow

Koledinskiy A. — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head, Department of Cardiology, endovascular surgery and hybrid methods of diagnosis and treatment at the medical institute of the RUDN University, endovascular surgery, Moscow

Kolomytseva L. — Kuban State Medical University

Konovalov M. — Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Korotkevich E. — Tver State Medical University

Krainukov P. — Federal State Institution «Central Military Clinical Hospital named after P.V. Mandryka», Moscow; Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba», Moscow

Krinitsin P. — Postgraduate student, Siberian Federal University (SibFU)

Krotov G. — A.S. Loginov Moscow Clinical Scientific Centre

Krylov D. — Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Kuptsova D. — Resident Doctor Kazan State Medical University

Kurdyumov I. — RTU MIREA

Kuryanova E. — Doctor of Biological Sciences, Professor, Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev

Lovtsov V. — Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Lukashov S. — Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Bryansk State University named after acad. I.G. Petrovskogo

Magomedov A. — Doctor of Biological Sciences, Professor, Dagestan State Medical University

Makarimov E. — Doctor of the Vascular Surgery Department №1, GAUZ City Clinical Hospital №7, Kazan

Malyavin M. — postgraduate student, Moscow University of Information Technology

Manushkina M. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Siberian Federal University (SibFU)

Maslyakov V. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky; Doctor of Medical Sciences, Professor, Medical University «Reaviz»

Maznin D. — associate professor, head, Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov

Merkusheva E. — Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University (Arkhangelsk)

Milekhina A. — Tver State Medical University

Mlynar E. — Candidate of Biological Sciences, Far Eastern State Medical University, Khabarovsk

Molyakov A. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Russian State Humanitarian University (Moscow)

Mytasov A. — Oncologist, Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky", Moscow

Neklyudov A. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Research University, Moscow Power Engineering Institute

Nioradze M. — «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Nistratov G. — Candidate of Medical Sciences, MD, physician in X-ray endovascular diagnostics and treatment, Department of X-ray surgical diagnostics and treatment methods No. 2, Moscow

Nozdracheva E. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State University named after acad. I.G. Petrovskogo

Nuyya O. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Olimpiev S. — Postgraduate student, National Research University, Moscow Power Engineering Institute

Omarova P. — Candidate of Biological Science, Associate Professor, Dagestan State Medical University

Orlov A. — «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Orlova I. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Parsheva O. — Bauman Moscow State Technical University

Pavlova S. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Pelipenko N. — Kuban State Medical University

Pentkovskaya D. — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Order of Labor Red Banner Medical Institute named after S.I. Georgievsky, Simferopol

Petrov A. — Senior Lecturer, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Petrunkin R. — Private University «Reaviz», Saint Petersburg

Piotrovsky D. — Doctor of Technical Sciences, Professor, MIREA – Russian Technological University

Pokrovsky G. — Tver State Medical University

Polidanov M. — research department specialist, University «Reaviz», Saint Petersburg

Ponomarev D. — Candidate of Medical Sciences, Cardiologist, Branch of LLC «MEDTORGSERVIS»

Prokhorov V. — Magnitogorsk state technical university named after G.I. Nosov

Prokhorov V. — RTU MIREA

Puzdyreva M. — Candidate of Medical Sciences, «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Razin V. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Ulyanovsk State University

Repinskaya I. — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Order of Labor Red Banner Medical Institute named after S.I. Georgievsky, Simferopol

Rozhkova M. — «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Rykov S. — Doctor, Department of X-ray Endovascular Methods of Diagnosis and Treatment No. 2, Moscow

Saradgishvili S. — Candidate of technical sciences, associate professor, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

Sedunova E. — Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University» (Arkhangelsk)

Semenova N. — Candidate of Biological Sciences, All-Russian State University of Justice, Moscow

Sergeantova M. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Sevastyanov A. — Doctor of Medical Sciences, Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Shengren Rao — graduate student, Bauman Moscow State Technical University

Shtorina A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Shuhratzoda M. — Postgraduate student, Siberian Federal University (SibFU)

Shvartsburg L. — doctor of technical sciences, professor, MSUT «STANKIN»

Slabogorskaya A. — Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

Stepanov M. — graduate student, Tomsk Polytechnic University

Stryukovskye A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kuban State Medical University

Stupin V. — Candidate of Biological Sciences, Senior Lecturer, Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev

Tashukhozhaeva D. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professorof, Medical University «Reaviz», Saratov

Tiazhelnikova K. — Head of projects, TBank JSC, Moscow

Timakov K. — MIREA — Russian Technological University

Toichkin N. — candidate of technical sciences, associate professor, Murmansk Arctic university, Apatity

Tokhtar L. — Candidate of Biological Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Scientific and Educational Center «Botanical Garden of the National Research University of Belarus», Belgorod

Tokhtar V. — Doctor of Biological Sciences, senior researcher, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University» Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod

Tretyakov M. — Researcher, Candidate of Biological Sciences, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University» Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod

Tryasuchev A. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Astrakhan State University named after V.N. Tatishchev

Tsareva A. — Postgraduate student, Ulyanovsk State University

Tsvirkun V. — Doctor of Medical Sciences (M.D.), Professor, chief Research Scientist, A.S. Loginov Moscow Clinical Scientific Centre

Umantseva O. — The Academy of Management of the Interior Ministry of the Russian Federation

Useinova R. — V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Order of Red Banner of Labor S.I. Georgievsky Medical Institute, Simferopol

Vasilyeva N. — «St. Petersburg State Pediatric Medical University»

Volkov D. — Oncologist, Federal State Budgetary Scientific Institution «Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky", Moscow

Volkov K. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Vorganov A. — Head of the educational unit, RTU MIREA

Yarovikov A. — Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)

Yatskov I. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Order of Labor Red Banner Medical Institute named after S.I. Georgievsky, Simferopol

Yaya Latifatou — graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of the Peoples' Friendship University of Russia Patrice Lumumba (Moscow)

Yurieva S. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Northern State Medical University» (Arkhangelsk)

Zagorulko A. — MD, Candidate of Medical Sciences, Branch of the Oncology Center No. 1 of the S.S. Yudin City Clinical Hospital of the Healthcare Department of Moscow; physician in X-ray endovascular diagnostics and treatment; cardiovascular surgeon, Department of Cardiology, X-ray Endovascular and Hybrid Diagnostic and Treatment Methods of the Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

Zagreba I. — Doctor of Melical Scrinces, Associate Professor, Rostov-on-Don Municipal Emergency Aid Hospital; Rostov State Medical University, Ministry of Public Health of Russia

Zhang Haoxiang — Baltic State Technical University

Zhilin G. — RTU MIREA

Zhilyaeva N. — Postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Belgorod National Research University», Scientific and Educational Center «BelSU Botanical Garden», Belgorod

Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале

Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе "Антиплагиат".

За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал "Современная наука: актуальные проблемы теории и практики" проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

Правила оформления текста.

- Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением ".doc", или ".rtf", шрифт 14 Times New Roman.
- Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Правила написания математических формул.

- В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

Правила оформления графики.

- Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» (e-mail: redaktor@nauteh.ru).