

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:  
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

# ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 6 2024 (ИЮНЬ)

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

Журнал издается с 2011 года.

## Редакция:

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

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

## Издатель:

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

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

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

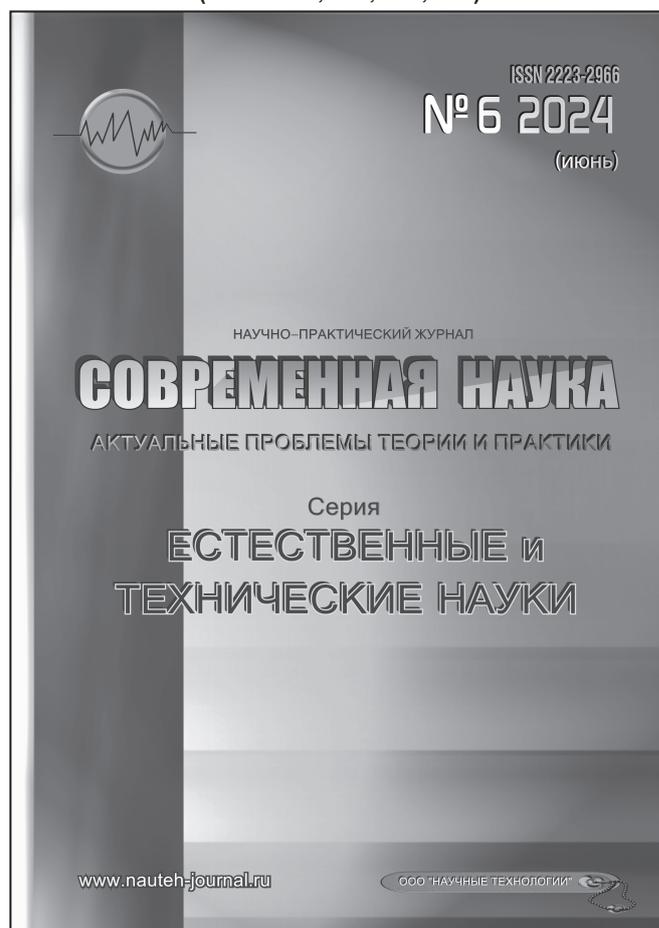
Журнал зарегистрирован Федеральной службой  
по надзору в сфере массовых коммуникаций,  
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



## В НОМЕРЕ:

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

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

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

Журнал отпечатан в типографии  
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296  
Подписано в печать 14.06.2024 г. Формат 84x108 1/16  
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



# Редакционный совет

---

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# СОДЕРЖАНИЕ

# CONTENTS

## Общая биология

**Бабаева И.Х., Алиева Л.А., Исаева В.К., Мамедова А.Э.** — Изучение липолитической активности хищных нематофаговых грибов, выделенных из почв Апшерона  
*Babayeva I., Aliyeva L., Isayeva V., Mamedova A.* — A study of lipolytic activity of predatory nematophagous fungi isolated from the soils of Absheron .....7

**Бердукаева Х.С.** — Влияние хелатированных форм эссенциальных микроэлементов на физиолого-биохимические показатели органов и тканей животных  
*Berdukaeva Kh.* — The influence of chelated forms of essential microelements on the physiological and biochemical parameters of animal organs and tissues .....10

**Букаров Н.Г., Замощенко Т.Ю.** — Экспрессия генома крупного рогатого скота и перспективы новых ДНК технологий  
*Bukarov N., Zamoshchenko T.* — Expression of the bovine type ea commutative complex .....15

**Плиева А.М., Дзармотова З.И., Дударова Х.Ю., Темиркеева Я.М.** — Микробиологические нарушения при гельминтозах  
*Plieva A., Dzarmotova Z., Dudarova Kh., Temirkeeva Ya.* — Microbiological disorders in helminthiasis.....18

**Халилов Р.А., Джафарова А.М., Рабаданова З.Г., Джафаров М.Б.** — Влияние активных форм кислорода на структурно-функциональные параметры лактатдегидрогеназы мозга крыс  
*Khalilov R., Jafarova A., Rabadanova Z., Jafarov M.* — Influence of active oxygen species on structural and functional parameters of brain lactate dehydrogenase.....22

## Информатика, вычислительная техника и управление

**Андреев А.А., Рудаков И.В.** — Моделирование распределенных систем открытой инфраструктуры на основе сетей Петри

*Andreev A., Rudakov I.* — Modeling of distributed open infrastructure systems based on Petri nets ... 27

**Башкеев А.А., Карюгин Д.А., Брагинский П.Б.** — Информатизация логистических процессов промышленных предприятий  
*Bashkeev A., Karyugin D., Braginsky P.* — Informatization of logistics processes of industrial enterprises .....31

**Бондаренко Б.П.** — Математическое моделирование задач информационной защиты с помощью теории игр  
*Bondarenko B.* — Mathematical modeling of information security tasks using game theory .....35

**Боровская О.Е., Савельев И.А.** — Встраивание TIP в экосистему SOC  
*Borovskaya O., Savelyev I.* — Integrating TIP into the SOC ecosystem..... 40

**Бухонов Д.О.** — Систематизация данных для разработки модели прогнозирования поведенческих паттернов аудитории интернет-ресурсов  
*Buhonov D.* — Systematization of data for the development of a model for predicting behavioral patterns of the audience of internet resources..... 45

**Гладышев М.Д.** — Разработка модели цифрового двойника: технологические аспекты и практические применения  
*Gladyshev M.* — Development of a digital twin model: technological aspects and practical applications... 48

**Гончаров А.В.** — Автоматизация в промышленности: применение виртуального проектирования и моделирования  
*Goncharov A.* — Automation in industry: the application of virtual design and modeling.....52

**Горячкин Б.С., Нищук Р.С.** — Эргономический анализ рекомендательной системы  
*Goryachkin B., Nischuk R.* — Ergonomic analysis of a recommendation system .....56

- Горячкин Б.С., Гришин К.П.** — Анализ нормативно-правовых документов, регулирующих работу интеллектуального контура управления  
*Goryachkin B., Grishin K.* — Analysis of regulatory documents governing the operation of the intelligent control loop .....65
- Дронов А.Г.** — Об одном алгоритме генерации поверхностных сеток  
*Dronov A.* — About one algorithm for surface mesh generation .....74
- Кобзев И.С.** — Анализ функциональных мозговых сетей у людей с расстройством аутистического спектра с использованием модели BERGM  
*Kobzev I.* — Analysis of functional brain networks in individuals with autism spectrum disorder using the bayesian exponential random graph model .....80
- Марковник Г.А.** — Особенности моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта  
*Markovnik G.* — Features of modeling the nonlinear interaction of an engineering structure with an array of soil .....84
- Новичков Д.В., Федько С.В.** — Моделирование структуры воздушного пространства на основе шестиугольной решетки  
*Novichkov D., Fedko S.* — Modeling the structure of air space based on a hexagonal grid .....88
- Пиманов А.Е., Самохина В.М.** — Выбор метода сбора статистики в VK API: анализ Callback API и Long Poll API  
*Pimanov A., Samokhina V.* — Choosing a method for collecting statistics in the VK API: analysis of the Callback API and LongPoll API.....94
- Плескачева О.Ю., Прусс Б.Н., Романов В.А., Соболева Г.Н.** — Разработка информационной системы геодезических расчетов и исследований  
*Pleskacheva O., Pruss B., Romanov V., Soboleva G.* — Development of an information system for geodetic calculations and research .....99
- Полохов А.Н.** — Использование априорной и инвариантной информации о форме тела для решения задачи коррекции навигационных данных  
*Polokhov A.* — The use of a priori and invariant body shape information to solve the problem of correcting navigation data ..... 104
- Потапов Д.А., Корниенко С.В.** — Модель системы обнаружения дефектов программной среды на основе глубокого обучения с наиболее подходящими гиперпараметрами  
*Potapov D., Kornienko S.* — Model of a software environment defect detection system based on deep learning with the most suitable hyperparameters ..... 111
- Романов М.С., Петрова Е.В., Бутов В.В., Апальков А.В., Паршин С.В.** — Разработка универсального идентификатора Touch Memory элемента системы защиты информации с использованием библиотеки программной реализации ведомого устройства протокола iButton  
*Romanov M., Petrova E., Butov V., Apalkov A., Parshin S.* — Development of the universal identifier of the Touch Memory element of the information security system using the library of the software implementation of the iButton protocol slave device..... 116
- Суздальский Д.А.** — Оптимизация оценки риска для поддержки принятия решений с использованием интеллектуальной модели, основанной на нечетких логических выводах возобновляемых правил  
*Suzdalsky D.* — Optimization of risk assessment to support decision making using an intelligent model based on fuzzy logical inference of renewable rules ..... 121
- Терешенко А.А.** — Оценка эффективности применения генеративно-сопоставительной нейронной сети с учетом исторических данных и оценкой тональности текста для анализа акций на фондовом рынке  
*Tereshenko A.* — Assessment of the effectiveness of applying generative adversary neural network taken into account of historical data and assessment of text tone for analysis of stocks in the stock market .... 128
- Узоров К.А., Михиенков К.С., Абанин Т.Д.** — Применение технологий искусственного интеллекта для автоматизации процесса внедрения информационной системы на примере приюта для животных

*Uzorov K., Mikhienkov K., Abanin T.* — The use of artificial intelligence technologies to automate the process of implementing an information system using the example of an animal shelter. .... 133

**Укуахамба Я.А.** — Исследование методов и ресурсов обнаружения текстовых блоков информации, сгенерированных искусственным интеллектом: новые подходы и перспективы  
*Ukuahamba Ya.* — Research of methods and resources for detecting text blocks of information generated by artificial intelligence: new approaches and perspectives ..... 139

#### Клиническая медицина

**Быстров Д.О., Комаров Р.Н., Шонбин А.Н., Афонин Б.О., Мацуганов Д.А.** — Сочетанное хирургическое лечение фибрилляции предсердий у пациентов, подвергающихся кардиохирургическим операциям  
*Bystrov D., Komarov R., Shonbin A., Afonin B., Matsuganov D.* — Combined surgical treatment of atrial fibrillation in patients undergoing cardiac surgery. .... 144

**Долаков И.Г., Гезгиева Р.К., Даскиева Х.В., Шадиева Я.М., Чемурзиева А.М.** — Острая артериальная мезентериальная ишемия  
*Dolakov I., Gezgieva R., Daskieva Kh., Shadieva Ya., Chemurzieva A.* — Acute arterial mesenteric ischemia ..... 151

**Каганов О.И., Фролов С.А., Козлов А.М., Швец Д.С., Блинов Н.В.** — Хирургические результаты лечения больных колоректальным раком  
*Kaganov O., Frolov S., Kozlov A., Shvets D., Blinov N.* — Surgical results of treatment of patients with colorectal cancer ..... 160

**Кещьян Л.В., Ляличкина Н.А., Иксанова Е.З.** — Диагностика психоэмоционального состояния у беременных  
*Keshchyan L., Lyalichkina N., Iksanova E.* — Diagnosis of the psychoemotional state in pregnant women ..... 168

**Кещьян Л.В., Ляличкина Н.А., Егоров А.А.** — Особенности обезболивания родов у женщин, прошедших программу «Осознанное материнство»

*Keshchyan L., Lyalichkina N., Egorov A.* — Features of pain relief of childbirth in women who have completed the program «Conscious motherhood» ..... 172

**Кинаш И.Н., Верхозина Т.К., Ипполитова Е.Г., Цысляк Е.С.** — Изменения биоритмов головного мозга при функциональных пробах у пациентов со стенозом позвоночного канала шейного отдела  
*Kinash I., Verkhovina T., Ippolitova E., Tsyslyak E.* — Changes in brain biorhythms during functional tests in patients with cervical spinal canal stenosis ..... 176

**Колесников А.Н., Албакова З.А.-М., Поляхова Ю.Н., Кучеренко Е.А.** — Что может дать углубленный анализ оказания неотложной помощи для разработки направлений улучшения показателей?  
*Kolesnikov A., Albakova Z., Polyakova J., Kucherenko E.* — What can an in-depth analysis of emergency care provide to develop ways to improve indicators? ..... 180

**Конопако Е.А., Шавоева Х.С., Богомолова Ю.А.** — Уровень тревожности у молодых женщин и его влияние на менструальный цикл  
*Konopako E., Shavoieva Kh., Bogomolova Yu.* — Anxiety levels in young women and its impact on the menstrual cycle ..... 189

**Лобанов Ю.С., Шаповалов К.Г., Лобанов С.Л., Лобанов Л.С.** — Закономерности микроциркуляторных изменений и их клинические признаки при операциях в условиях ретроперитонеоперитонеума  
*Lobanov Yu., Shapovalov K., Lobanov S., Lobanov L.* — Patterns of microcirculatory changes and their clinical signs in retroperitoneal surgeries ..... 192

**Ломова И.П., Тихонова М.Б.** — Внеклеточные везикулы в диагностике и лечении геморрагического инсульта (обзор литературы)  
*Lomova I., Tikhonova M.* — Extracellular vesicles in diagnosis and treatment of hemorrhagic stroke (literature review) ..... 197

**Пастушенко А.Э., Великая А.В., Быковский И.В., Аметова Л.О., Ручкин И.А.** — Эффект полифенольных концентратов на реабилитацию при ревматоидном артрите

<i>Pastushenko A., Velikaya A., Bykovskiy I., Ametova L., Rutchkin I.</i> — The effect of polyphenolic concentrates on rehabilitation in rheumatoid arthritis. ....	205
<b>Соколова А.И., Ребров Д.С., Лушникова М.А., Черкасова Ю.Б., Королева М.В.</b> — Роль клеточного механизма развития фиброза миокарда как вектора для поиска новых подходов к диагностике и лечению <i>Sokolova A., Rebrov D., Lushnikova M., Cherkasova J., Koroleva M.</i> — The role of the cellular mechanism of myocardial fibrosis development as a vector for the search for new approaches to diagnosis and treatment .....	210
<b>Султанова О.Э., Чернышева Е.Н., Кузьмичев Б.Ю., Исмаилова П.И., Мили Уассим Шараф Эддин</b> — Оценка уровня гомоцистеина в зависимости от степени поражения коронарного русла при остром коронарном синдроме на фоне недифференцированной дисплазии соединительной ткани <i>Sultanova O., Chernysheva E., Kuzmichev B., Ismailova P., Mili Wassim Sharaf Eddin</i> — Assessment of homocysteine levels depending on the degree of damage to the coronary bed in acute coronary syndrome on the background of undifferentiated dysplasia connective tissue .....	218
Наши авторы .....	222

# ИЗУЧЕНИЕ ЛИПОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ХИЩНЫХ НЕМАТОФАГОВЫХ ГРИБОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ ПОЧВ АПСХЕРОНА

## A STUDY OF LIPOLYTIC ACTIVITY OF PREDATORY NEMATOPHAGOUS FUNGI ISOLATED FROM THE SOILS OF ABSHERON

**I. Babayeva  
L. Aliyeva  
V. Isayeva  
A. Mamedova**

**Summary.** Lipolytic activity of nematophagous predatory fungi have been studied. It was revealed that the active fungal strains *Arthrobotrys longa* EM-1 and *Arthrobotrys musiformis* SQ2, selected as a result of screening, have almost identical exolipase activity. The adding of soybean flour to the medium at a concentration of 2 % significantly increases the exo- and endolipolytic activity of the studied fungi.

**Keywords:** exolipase, endolipase, lipolytic activity, *Arthrobotrys longa* EM-1, *Arthrobotrys musiformis* SQ2.

**Бабаева Ирада Халид кызы**

доктор философии по биологии, доцент,  
зав. лабораторией Института Микробиологии  
Министерства Науки и Образования  
Азербайджана, г. Баку  
babayevairada@mail.ru

**Алиева Лала Ариф кызы**

доктор философии по биологии, старший научный  
сотрудник Института Микробиологии Министерства  
Науки и Образования Азербайджана, г. Баку  
lalaalieva75@mail.ru

**Исаева Вусаля Камаледдин кызы**

доктор философии по биологии, старший научный  
сотрудник Института Микробиологии Министерства  
Науки и Образования Азербайджана, г. Баку  
isayevavusale33@gmail.com

**Мамедова Асмар Эльман кызы**

докторант, младший научный сотрудник Института  
Микробиологии Министерства Науки и Образования  
Азербайджана, г. Баку  
esmer\_mammadova90@mail.ru

**Аннотация.** В проведенном исследовании изучена липолитическая активность нематофаговых хищных грибов. Выявлено, что отобранные в результате скрининга активные штаммы грибов *Arthrobotrys longa* EM-1 и *Arthrobotrys musiformis* SQ2 обладают почти одинаковой активностью экзолипазы. Введение в среду соевой муки в концентрации 2 % значительно увеличивает экзо- и эндолиполитическую активность исследуемых грибов.

**Ключевые слова:** экзолипаза, эндолипаза, липолитическая активность, *Arthrobotrys longa* EM-1, *Arthrobotrys musiformis* SQ2.

Нематофаговые хищные грибы являются широко распространенной группой почвенных мицелиальных грибов и составляют особую экологическую нишу. От сапрофитов, обитающих на растительных и животных остатках, эти грибы отличаются образом жизни, заключающимся в улавливании свободноживущих микроскопических нематод, умерщвлении их, а затем использовании содержимого тела (9, 11).

Как известно, хищные грибы обильно развиваются в условиях чистой культуры на различных углеводных и белково-углеводных естественных и синтетических средах. Однако, в отличие от почвы на этих средах способности их формировать ловчие аппараты либо отсутствуют, либо сильно снижаются. При культивировании же на бедных средах или даже в дистиллированной воде в присутствии нематод, все представители нематофа-

говых хищных грибов независимо от видовой принадлежности нематод удовлетворяют свои потребности в необходимых для их жизнедеятельности органических источниках питания, т.е. удовлетворительно растут, обильно спороносятся и формируют ловчие аппараты. Несомненно, что для использования нематоды в качестве питательного субстрата хищные грибы обладают ферментной системой, способную утилизировать ее содержимое (4, 12).

Способность хищных грибов синтезировать комплекс гидролитических ферментов была установлена рядом исследователей (5, 6).

Известно, что в теле нематоды в качестве запасных веществ вокруг кишки накапливаются жировые гранулы. Последние, как и другие органические вещества полно-

стью используются ассимилятивными гифами грибов, пронизывающими все тело нематоды после их улавливания. Для выяснения способности хищных грибов утилизировать жировые гранулы, накапливающиеся в теле нематоды в виде запасных веществ, настоятельно требуется изучение наличия ферментов, гидролизующих жиры и жироподобные продукты. Вопрос о способности хищных грибов синтезировать липолитические ферменты-липазы малоизучен, особенно в Азербайджане (4).

Надо отметить, что изучение липолитической активности хищных грибов представляет интерес поскольку в отличие от других мицелиальных грибов, питающихся растительными субстратами, эти грибы используют для питания субстраты животного происхождения.

Кроме того, благодаря своим свойствам липазы находят широкое практическое применение при решении многих задач в промышленности и здравоохранении. Принимая во внимание, что микробные ферменты обладают большим преимуществом по сравнению с ферментами растительного и животного происхождения, всё ещё продолжается поиск высокоэффективных продуцентов этих ферментов среди микроорганизмов (2, 7, 8, 10).

Учитывая вышесказанное целью представленной работы явилось изучение липолитической активности хищных гифомицетов, выделенных из почв Апшерона.

### Материалы и методы

Изучение липолитической активности проводилось на грибах, выделенных нами ранее из почв Апшерона согласно методу Сопрунова Ф.Ф. [7]. Исследуемые грибные штаммы принадлежат к 2 родам нематофаговых хищных грибов *Arthrobotrys* и *Golovinia*: *Arthrobotrys musiformis* SQ2, *Arthrobotrys musiformis* SQ3, *Arthrobotrys oligospora* EM-1, *Arthrobotrys oligospora* EM-2, *Arthrobotrys oligospora* EM-3, *Arthrobotrys oligospora* EM-4, *Arthrobotrys oligospora* EM-5, *Arthrobotrys longa* EM-1, *Arthrobotrys longa* EM-2, *Arthrobotrys apsheronica* EM-1, *Arthrobotrys apsheronica* EM-2, *Arthrobotrys apsheronica* EM-3, *Arthrobotrys apsheronica* EM-4, *Golovinia appendiculata* EM-1, *Golovinia appendiculata* EM-2.

Предварительный отбор продуцентов липазы у исследуемых хищных грибов был проведен чашечным методом. В качестве субстрата использовали трибутирин или говяжий жир. Исследуемые грибы выращивали на среде Чапека или сусло-агаре 5° Б. Образованные ими липазы обнаруживали на смеси 2 % трибутирина, внесенного в охлажденный до 40°C агар, приготовленный на фосфатном буфере со значениями pH 4, 5, 6, 7, 8. Чашки выдерживали в термостате при 37°C 24 часа. О наличии экзоплазмы судили по прозрачным зонам вокруг лунок.

Во второй серии опытов на поверхность агаризованного трибутирина уколом высевали исследуемые грибы. Чашки инкубировали в термостате при температуре 26–28°C в течение 7-ми суток. Наличие просветления вокруг зоны роста свидетельствовало о наличии липазы у гриба (1, 4). Однако, как показали опыты чашечный метод позволяет говорить лишь о наличии или отсутствии липолитических ферментов и не дает представление о степени активности штаммов. В связи с этим отбор продуцентов липаз проводили с помощью количественного метода оценки ферментативной активности. С этой целью в качестве теста брали оливковое масло, являющееся общепринятым субстратом для определения липаз. На активность анализировалась как культуральная жидкость, так и водная вытяжка из мицелия исследуемых штаммов. Количественная оценка липолитической активности определялась титрометрическим методом Ото и Ямады (3). В качестве питательных сред для оценки липолитической активности использовались среды Чапека (I), сусло 50 Б(II), среда Мейзе (III) в составе: глюкоза — 30, крахмал — 4, пептон — 2,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 1,  $\text{MgSO}_4$  — 0,5,  $\text{KCl}$  — 1,2 г/л, глицерин — 10 мл,  $\text{FeSO}_4$  — следы.

### Полученные результаты и их обсуждение

В результате проведенного скрининга было выявлено, что хищные грибы в той или иной степени обладают липолитической активностью, которая различается как в пределах родов, так и штаммов. Наиболее активными оказались представители рода *Arthrobotrys*. Выраженная липолитическая активность была отмечена у двух штаммов рода *Arthrobotrys* — *Arthrobotrys musiformis* SQ2 и *Arthrobotrys longa* EM-1. А у штаммов рода *Golovinia* способность продуцировать липолитические ферменты не была отмечена.

Так как по предварительным результатам отбора более активными оказались два штамма рода *Arthrobotrys* — *Arthrobotrys musiformis* SQ2 и *Arthrobotrys longa* EM-1, то дальнейшие исследования были проведены именно с ними.

Следует отметить, что при изучении липолитической активности большое значение имеют условия развития микроорганизма, среди которых важную роль играет состав питательной среды, обеспечивающей высокий выход фермента. Учитывая вышесказанное, изучение способности исследуемых грибов *Arthrobotrys musiformis* SQ2 и *Arthrobotrys longa* EM-1 к образованию липаз проводилось на различных по составу средах: среда Чапека (I), среда Чапека + соевая мука (I+ соевая мука), сусло 5° Б (II), среда Мейзе (III) (таблица 2).

Из приведенных в таблице №2 данных следует, что основная масса фермента находится в культуральной жидкости, липазная активность мицелия у этих была

Таблица 1.  
Отбор продуцентов липолитических ферментов  
диффузионным методом

Штаммы грибов	Липолитическая активность
<i>Arthrobotrys musiformis</i> SQ2	+++
<i>Arthrobotrys musiformis</i> SQ3	++
<i>Arthrobotrys oligospora</i> EM-1	–
<i>Arthrobotrys oligospora</i> EM-2	+
<i>Arthrobotrys oligospora</i> EM-3	–
<i>Arthrobotrys oligospora</i> EM-4	+
<i>Arthrobotrys oligospora</i> EM-5	–
<i>Arthrobotrys longa</i> EM-1	+++
<i>Arthrobotrys longa</i> EM-2	+
<i>Arthrobotrys apsheronica</i> EM-1	+
<i>Arthrobotrys apsheronica</i> EM-2	–
<i>Arthrobotrys apsheronica</i> EM-3	–
<i>Arthrobotrys apsheronica</i> EM-4	+
<i>Golovinia appendiculata</i> EM-1	–
<i>Golovinia appendiculata</i> EM-2	–

Примечание: (–) — нет активности, (+++++) — наибольшая активность

очень низкой. Поэтому в дальнейшей работе целесообразно изучать липолитическую активность грибов

в культуральной жидкости. Как видно из полученных результатов исследуемые штаммы грибов *Arthrobotrys longa* EM-1 и *Arthrobotrys musiformis* SQ2 обладают почти одинаковой активностью экзолипазы.

Таблица 2.  
Оценка липолитической активности исследуемых грибов

Среды	Липолитическая активность			
	<i>Arthrobotrys musiformis</i> SQ2		<i>Arthrobotrys longa</i> EM-1	
	КЖ	ВМ	КЖ	ВМ
Чапек	0	0	0,5	0
Чапек+соевая мука	1,5	0,4	1,55	0,5
Сушло 5 <sup>0</sup> Б	1,0	0,2	1,0	0,4
Мейзе	0,5	0,1	0,3	0

Так, активность липазы выше на средах, богатых органическими веществами. Введение в среду соевой муки в концентрации 2 % значительно увеличивает экзо- и эндолиполитическую активность исследуемых грибов.

Таким образом, хотя исследуемые грибы и обладают некоторой липолитической активностью, но для рассмотрения их в качестве перспективных штаммов-продуцентов липазы необходимо изучить влияние индукторов, повышающих их биосинтетическую активность.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Альмяшева Н.Р. Продукция липолитических ферментов ксилотрофными грибами отдела Basidiomycetes // Антибиотики и химиотерапия, 2018, 63, №1-2, с. 8–13.
- Глухова Л.Б. и др. Изучение липолитической активности и способности к биоконверсии жиромассы у микромицетов, выделенных из жиродержащих отходов пищевой промышленности // Биотехнология, 2022, Т. 38, № 5. С. 25–33.
- Демьянцева Е.Ю., Копнина Р.А. Ферментативный катализ в ЦПБ: учебно-методическое пособие /СПбГТУРП.СПб., 2014, 47 с.
- Касумова С.Ю. Значение липолитических ферментов в формировании экологических особенностей нематофаговых хищных грибов. Дисс. на соиск. ученой степени канд. биол. наук, 1989, 108 с.
- Касумова С.Ю., Намазов Н.Р., Гасанов Х.А., Мурадов П.З. Изучение образования протеолитических ферментов у хищных грибов // географическая среда и живые системы, 2005, №4, с. 102–105.
- Шаркова Т.С. и др. Скрининг продуцентов протеиназ с фибринолитической и коллагенолитической активностями среди микромицетов // Микробиология, 2015, том 84, № 3, с. 316–322.
- Bakshaliyeva K.F., Ahmedli A.A., Seyidova G.M. Evaluation of Micromycetes isolated from oil-contaminated soils for lipolytic activity // Advanced Studies in Biology, V.15, 2023, №1, 129–135. <https://doi.org/10.12988/asb.2023.91697>
- Gómez-Vázquez E. et al. Molecular identification and lipolytic potential of filamentous fungi isolated from residual cooking oil. //Biodiversity Data Journal (2024). <https://doi.org/10.3897/BDJ.12.e113698>
- Hussain M, Zouhar M, Rysánek P. Effects of nematophagous fungi on viability of eggs and juveniles of *Meloidogyne incognita*. J Anim. Plant. Sci. 2017; 27(1): 252–258.
- Oliveira F. et al. Optimization of lipase production by solid-state fermentation of olive pomace: from flask to laboratory-scale packedbed bioreactor. Bioprocess Biosyst Eng. 2017, 40:1123–1132. DOI 10.1007/s00449-017-1774-2.
- Soliman MS. et al. Suppression of root-knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato plants using the nematode trapping fungus *Arthrobotrysoligospora* Fresenius. // J Appl Microbiol., 2021, V.131(5), p.2402–2415. <https://doi.org/10.1111/jam.15101>.
- Yang J., Tian B., Liang L., Zhang K.-Q. Extracellular enzymes and the pathogenesis of nematophagous fungi // Appl. Microbiol. Biotechnol, 2007, 75:21–31.

# ВЛИЯНИЕ ХЕЛАТИРОВАННЫХ ФОРМ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОРГАНОВ И ТКАНЕЙ ЖИВОТНЫХ

**Бердукаева Хава Сайпиевна**

аспирант, ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет» им. А.А.Кадырова, Грозный  
xeda\_magomedovna@mail.ru

## THE INFLUENCE OF CHELATED FORMS OF ESSENTIAL MICROELEMENTS ON THE PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL PARAMETERS OF ANIMAL ORGANS AND TISSUES

*Kh. Berdukaeva*

*Summary.* Oral administration of complexonates of essential microelements prepared on the basis of ethylenediaminedisuccinic acid in the area of their insufficient and incompatible intake also ensures the induction of the cytological composition of the blood. In particular, it stimulates hematopoiesis of such indicators as erythropoiesis, leukopoiesis, thrombocytopoiesis and a concomitant increase in the collector indicator — the oxygen capacity of the blood. It also helps expand the blood proteome and carbohydrate status. Expands the depot of microelements in the liver and blood system. Increases the enzymatic activity of alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase in the blood. Optimizes the detoxification of amine nitrogen by transforming it into urea. Through the formation of creatinine, we indicate muscle mass in somatics.

*Keywords:* alimentation, complexonates, enzymes, anabolic, ruminal digestion, ecosystem, pool, synergism, lactate, glycolysis, tissue respiration, macroergic, glucose, oxygen capacity.

*Аннотация.* Пероральное применение комплексонов эссенциальных микроэлементов, приготовленных на основе этилендиаминадиантарной кислоты, в зоне их недостаточного и несочетаемого поступления обеспечивает индукцию цитологического состава крови. В частности, стимулирует гемопоэз таких показателей, как эритропоэз, лейкопоэз, тромбоцитопоэз и сопряженное повышение коллекторного показателя — кислородной емкости крови. Также способствует расширению протеомы крови и углеводного статуса. Расширяет депо микроэлементов в печени и системе крови. Повышает энзиматическую активность аланинаминотрансферазы и аспаратаминотрансферазы крови. Оптимизирует детоксикацию аминного азота, трансформируя его в мочевины.

*Ключевые слова:* алиментация, комплексоны, энзимы, анаболическое, рубцовое пищеварение, экосистема, пул, синергизм, лактат, гликолиз, тканевое дыхание, макроэргическое, глюкоза, кислородная емкость.

### Актуальность

Плуральными исследованиями факториально установлено, что алиментация микродобавок в различных физико-химических состояниях в зоне их недостаточного поступления заметно улучшает рубцовое пищеварение у полигастричных животных. Вышеуказанное приводит к оптимизации видового состава микрофлоры и микрофауны в экосистеме рубца, что непременно отражается на повышении концентрационного статуса летучих жирных кислот (ЛЖК) и других нутриентов в трофической системе [4].

Энзиматическое упрощение и трансформация биосубстратов в ЖКТ не только заметно повышает биологическую ценность, но и детерминирует высокую абсорбционную активность минеральных элементов, наряду с другими веществами.

Уровень содержания и оптимальное сочетание минеральных элементов между собой и другими ингре-

диентами рациона служит залогом наилучшего становления конституциональных особенностей разводимых животных в конкретных биогеохимических условиях. Первоисточником минеральных элементов, в том числе изучаемых нами жизненно необходимых нормируемых микроэлементов железа, меди, кобальта, цинка, марганца, является почвенный состав, от которого зависит биологическая ценность ботанического состава и соответствующая усвояемость кормов [2, 3].

Характерные физиолого-биохимические функции микроэлементов в организме могут быть реализованы при их биотически адекватном поступлении в составе рациона разводимых животных. Согласно литературным данным, известно, что микроэлементы, находясь в сложных металлопротеидных и других органических и неорганических формах, заметно отличаются друг от друга по биологической доступности в разных отделах трофической системы и абсорбционной активности, что влечет за собой повышение конверсии и утилиза-

цию суточного набора кормов. До настоящего времени в основном в хозяйственных условиях широко применяли неорганические соли минеральных элементов в целях восполнения и нивелиации суточной потребности изучаемых микроэлементов. Алиментируемые нами комплексонаты микроэлементов, не имеют недостатки, характерные для неорганических солей на всех этапах обмена веществ, что непременно отражается на росте и развитии животных [1, 5, 6].

Согласно авторитетным литературным данным, известно, что увеличение концентрационного фона ацетата и кропионата в спектре ЛЖК в рубцовой жидкости как результат микроэлементного обогащения рациона влечет за собой повышение липопротеидов плазмы крови и редуцирующих моносахаридов. Также отмечается высокая корреляция между показателями рубцового пищеварения и ресинтезом гексозы в глюконеогенезе гепатоцитов печени [7].

Пероральное применение таких препаратов, как «Гемовит +» и «Гемовит М» в рационе разных видов сельскохозяйственных животных обеспечило получение положительных результатов по оптимизации показателей гематокрита, гемоглобина, цветного показателя и кислородной емкости крови.

Вышеназванные препараты и их композиционный состав включают в себя нормируемые микроэлементы в хелатированной форме с ЭДТА (этилендиаминтетраацетата) и ЭДДЯК (этилендиаминдиантарной кислоты) [11,12,13].

Эмперически полученные статистические данные убедительно свидетельствуют о том, что применение нормируемых микроэлементов в составе рациона как моно-, так и полигастричных животных значительно улучшает и оптимизирует физиолого-биохимические показатели крови, роста и развития выращиваемого молодняка, обуславливающее повышение экономической эффективности, в том числе рентабельности получаемой продукции в разных биогеохимических условиях [7,8].

### Научная новизна

Впервые нами использованы комплексонаты микроэлементов в технологическом цикле дорастивания молодняка крупного рогатого скота в условиях естественной деплеции и диспаритета изучаемых микродобавок в сравнительном аспекте со средними неорганическими солями. Алиментарное применение различных форм микродобавок позволяет выявить наиболее эффективные и хозяйственно практичные препараты, используемые для детализированного нивелирования и создания синергического взаимовлияния между минеральными и другими ингредиентами рациона.

Цель исследования. Изучить влияние различных физико-химических форм микроэлементов Fe, Cu, Co, Zn, Mn в сравнительном аспекте на физиолого-биохимические показатели крови и на размеры концентрационного пула этих элементов в главном барьерном и депонирующем органе — в печени.

Задачи исследования.

В целях реализации концепции опыта были поставлены следующие задачи:

1. Изучить индуцирующее влияние различных физико-химических форм микроэлементов на цито-биохимические показатели крови.
2. Определить концентрационный статус микроэлементов в индикаторных органах и тканях.
3. Установить уровень содержания глюкозы и молочной кислоты в сыворотке крови.
4. Определение энзиматической активности аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы в сыворотке крови.
5. Установить концентрационный фон терминальных продуктов белкового метаболизма.

### Материал и методика исследования

Продолжительность опыта составила 120 дней с учетом предварительного адаптационного периода. Рационы кормления составляли согласно требованиям «Норм и рационы кормления сельскохозяйственных животных» ВИЖа [9].

Исследуемые группы были созданы методом пар-аналогов [10]. Хронодиапазон эксперимента в возрастной динамике от 6 до 10 месяцев. Табулированный статистический материал эксперимента был получен на завершающем этапе исследования в 2023 году.

Для реализации цели и поставленных задач нами были использованы следующие методы:

- физиолого-биохимические анализы системы крови проводили на автоматизированном гематологическом анализаторе для диагностического тестирования цельной крови;
- определение микроэлементного фона в системе крови и главном критическом органе — печени проводили рентгенофлуоресцентным методом анализа с применением полупроводниковой спектроскопии;
- полученный статистический материал опыта обрабатывали методами Н.А. Пдохинского.

Схема экспериментального кормления и ингридирования микродобавок представлена в таблице 1.

Раздачу микродобавок проводили индивидуально в составе концентрированных кормов утром и вечером

Таблица 1.

Схема кормления

Исследуемые группы	Животных голов	Условия кормления
I контрольная	5	Основной рацион (ОР)
II опытная	5	ОР + минеральные соли
III опытная	5	ОР + комплексоны

после полной гомогенизации. На завершающем этапе опыта был организован забой исследуемых животных и взятие, согласно методике, средних проб изучаемых нами внутренних органов и тканей с их последующим консервированием.

На завершающем этапе опыта брали цельную кровь из яремной вены с использованием специальных контейнеров.

Табулированный статистический материал таблицы 2, в частности гематокрит, гемоглобин, эритроциты, кислородная емкость крови, цветной индекс, лейкоциты и тромбоциты, убедительно свидетельствует о градации этих показателей в опытных группах относительно интактной группы как результат алиментарного поступления.

Таблица 2.

Физиологические показатели крови

Показатели	I контрольная	II опытная	III опытная
Гематокрит, л/л	39,4±2,1	40,1±2,4	41,2±1,8
Эритроциты, млн/мкл	5,23±0,34	5,74±0,39	5,99±0,40*
Гемоглобин, г/л	98,4±5,8	103,1±5,3	108,7±6,1*
Кислородная емкость, мл/л	131,9±8,7	138,2±9,2	145,7±10,4*
Цветной индекс	0,97	0,98	1,00
Лейкоциты, тыс/мкл	6,18±0,49	6,45±0,53	6,58±0,47
Тромбоциты, тыс/мкл	295±14,2	324±15,6	340±14,7*
СО <sub>2</sub> , мм/г	0,65±0,04	0,62±0,03	0,60±0,04

Примечание: \* — P>0,95

Также, полученные данные по следующим показателям третьей опытной группы относительно интактной группы имели достоверность (P > 0,95) и значимо превалировали над данными второй опытной группы.

Следовательно, как главный коллекторный показатель оксигенации органов и тканей — кислородная емкость крови служит иницирующим фактором повышения тканевого дыхания и сопряженного фосфорилирования, что является основной наилучшего макроэнергетического обеспечения энергетических потребностей в анаболизме группы комплексонов.

Количество лейкоцитов в контрольной группе составляет 6,18±0,49, во второй опытной — 6,45±0,53 и в

третьей — 6,58±0,47 тыс/мкл. Разность при этом составляет 0,13 тыс/мкл в пользу группы комплексонов относительно других групп. Аналогично отмечается увеличение количества тромбоцитов в третьей группе относительно других групп на 16,0 тыс/мкл. Увеличение количества эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов в группе комплексонов свидетельствует о гемопозитивном влиянии микроэлементов в виде комплексонов.

В основном концентрационный статус белка плазмы крови тесно связан с интенсивностью протеиногенеза в гепатоцитах печени.

Уровень содержания общего белка в третьей опытной группе составляет 72,5±5,2 г/л, когда во второй — 70,9±3,9 и в контроле — 68,4±4,3. Разность при этом составляет 1,6±4,1 г/л в пользу группы комплексонов.

Аналогичная градация по содержанию альбуминов и глобулинов отмечается в третьей опытной группе (таблица 3).

Таблица 3.

Содержание общего белка и белковых фракций в крови исследуемых животных (г/л)

Показатели	I контрольная	II опытная	III опытная
Общий белок	68,4±4,3	70,9±3,9	72,5±5,2
Альбумины	24,9±1,4	25,8±1,2	27,5±1,5
Глобулины	39,6±2,8	41,1±2,4	41,5±2,7
A/г коэффициент	0,62	0,63	0,66

Согласно табличному материалу (таблица 4), мы приходим к выводу, что пероральное применение микродобавок, особенно в хелатированной форме, способствует высокодостоверному улучшению микроэлементного статуса крови (P > 0,99; P > 0,999) в третьей группе относительно интактной группы и группы неорганических солей, что непременно отражается на микроэлементном обмене акцепторных органов и тканей растущего молодняка.

Таблица 4.

Микроэлементный статус крови (мг/кг сухого вещества)

Группы	Кровь				
	железо	медь	кобальт	цинк	марганец
I	763,1±62,3	1,28±0,06	0,102±0,008	9,4±0,48	9,3±0,7
II	845,9±57,9*	1,59±0,03**	0,135±0,009***	12,8±0,53***	11,4±0,5**
III	966,0±66,0**	2,12±0,07***	0,178±0,007***	15,6±0,56***	12,8±0,8***

Примечание: \* — P > 0,95; \*\* — P > 0,99; \*\*\* — P > 0,999

Содержание изучаемых нами различных форм микроэлементов (таблица 5) объективно свидетельствует

о высокой степени утилизации этих элементов, начиная с гастро-энтеральной системы и расширении размеров пула в главном критическом органе — в печени. Следовательно, уровень содержания изучаемых микроэлементов в группе комплексонов относительно других групп возрастает, в частности железо — на 45,7–83,4, медь — на 36,8 — 200, кобальт — 38,9 — 108, цинк — 32,5–62,2, марганец — 38,4–97,1. Таким образом, применение комплексонов микроэлементов является приоритетным методом оптимизации микроэлементного обмена исследуемых животных в третьей группе относительно неорганических солей и интактной группы.

Таблица 5.

Микроэлементный статус печени (мг/кг сухого вещества)

Группы	Печень				
	железо	медь	кобальт	цинк	марганец
I	98,4±5,2	3,9±0,2	0,0012±0,0009	96,4±7,2	172,2±1,4
II	123,9±6,4**	5,7±0,4***	0,018±0,0011***	118,0±8,4**	24,5±1,6***
III	180,5±7,43***	7,8±0,5***	0,025±0,0016***	156,4±9,5***	33,9±2,1***

Примечание: \*\*\* — P > 0,99; \*\* — P > 0,999

Энзимы, принимающие участие в углеводном обмене, начиная с гастроэнтеральной системы и кончая анаэробным и аэробным окислением глюкозы, являются металлоферментами или нуждаются в присутствии микроэлементов в кофакторном или коферментном участии в акте катализа.

Концентрация глюкозы в крови тесно связана с ее абсорбционной активностью, также с фосфорилитическим распадом гликогена и активностью гликолизогенеза.

Представленные цифровые данные таблицы 6 индикаторно отражают содержание глюкозы в крови исследуемых групп. В частности, фон глюкозы в крови интактной группы составляет 2,78±0,12 ммоль/л, когда во второй опытной – 2,96±0,16 и в третьей – 3,12±0,23. Разность при этом составляет между группой комплексонов и другими группами 5,4±12,2 % в пользу хелатированных форм микродобавок, при этом показатель третьей группы имеет достоверное увеличение (P > 0,95) относительно контроля и заметно выше группы неорганических солей.

Уровень содержания лактата (таблица 6) носит градирующий характер в опытных группах относительно контроля и эти данные несут высокодостоверный характер. То есть, по мере увеличению глюкозы в крови сопряженно наблюдаем возрастание лактата, как конечного продукта анаэробного окисления глюкозы. Содержание лактата в контроле составляет 0,98±0,05 ммоль/л, во

Таблица 6.

Концентрационный фон глюкозы и лактата в крови (ммоль/л)

Группы	Глюкоза	Лактат
I	2,78±0,12	0,98±0,05
II	2,96±0,16	1,23±0,07**
III	3,12±0,23*	1,34±0,09***

Примечание: \* — P > 0,95; \*\* — P > 0,99; \*\*\* — P > 0,999

второй опытной — 1,23±0,07 (P > 0,99) и в третьей опытной — 1,34±0,09 (P > 0,999).

Ферменты АЛТ и АСТ главным образом характеризуют синтез новых заменимых аминокислот в цитоплазме клетки, главным образом кардиомиоцитах и гепатоцитах, соответственно. Согласно таблице 7, мы отмечаем достоверное увеличение АЛТ и АСТ в группе комплексонов относительно остальных групп, как результат наилучшего обеспечения потребности организма эссенциальными микроэлементами в биодоступной форме.

Таблица 7.

Энзиматическая активность в крови (нкат/л)

Группы	Аланинаминотрансфераза (АЛТ)	Аспаратаминотрансфераза (АСТ)
I	518±30	1127±84
II	563±28	1180±79
III	596±36*	1219±85

Примечание: \* — P > 0,95.

Таким образом, АЛТ в контроле — 518±30 нкат/л, во второй опытной — 563±28 и в третьей — 596±36. В идентичной последовательности отличается увеличение активности АСТ в исследуемых группах в пользу третьей опытной группы как результат алиментации комплексонов микроэлементов.

Изученные нами продукты азотистого обмена убедительно демонстрируют целесообразность нивелиации нормируемых микроэлементов в рационе дорастиваемого молодняка, особенно в виде комплексонов. Согласно таблице 8, мы видим приоритетные статистические данные по детоксикации аминного азота и завершеного продукта энергообеспечения для ресинтеза АТФ в мышечной массе соматике в III группе. Мочевина образуется в орнитиновом цикле мочевинообразования в гепатоцитах печени. Согласно табличному материалу, образование аминного азота и его обезвреживание в третьей группе составляет 4,0±0,25 (P > 0,95), когда во второй опытной — 3,9±0,22 и в интактной — 3,7±0,18 ммоль/л. Разность при этом между группой комплексонов и другими группами составляет 2,5–8,1 %, соответственно. Следовательно, поступление и метаболическое использование с последующим дезаминированием аминокислот было выше в третьей группе.

Также, креатинин, образующийся из креатинофосфата после ресинтеза АТФ в мышечных клетках объективно характеризует мышечную массу организма. Согласно таблице 8, мы видим достоверное увеличение креатинина в опытных группах относительно контроля, когда среди опытных групп наиболее желательные показатели фиксируются в группе хелатированных солей.

#### Выводы

1. Алиментарное применение комплексонов микроэлементов, синтезированных на основе ЭДДЯК, обеспечивает рост цито-биохимических показателей крови в группе комплексонов по сравнению с контролем на 6,5–15,3 % и второй опытной группой на 2,0–5,4 %.
2. Пероральное применение микродобавок обеспечило расширение микроэлементного пула в печени в группе комплексонов относительно других групп железа на 45,7–83,4 %, меди — 36,8–99,8 %, кобальта — 38,9–108,3 %, цинка — 32,5–62,2 %, марганца — 38,4–97,1 %.
3. Отмечается увеличение глюкозы в группе комплексонов по сравнению с группой неорганических солей на 5,4 % и интактной группой на 12,3 %; в аналогичной последовательности увеличивается концентрационный фон лактата на 8,9 % и 36,7 %.

нических солей на 5,4 % и интактной группой на 12,3 %; в аналогичной последовательности увеличивается концентрационный фон лактата на 8,9 % и 36,7 %.

4. Наблюдается увеличение энзиматической активности АЛТ и АСТ в третьей опытной группе относительно контроля, соответственно на 15,4–14,5 %, со второй опытной группой на 5,9–3,3 %.
5. Применение комплексонов микроэлементов в составе рациона обеспечило увеличение детоксикации азота в виде мочевины в третьей опытной группе относительно контроля на 8,1 % и второй опытной — на 2,6 %; повышение креатинина соответственно на 18,7 % и 6,4 %.

#### Практическое предложение

В зоне недостаточного поступления микроэлементов рекомендуем применение вместо неорганических солей комплексонов ЭДДЯК в рационе дорастиваемого молодняка крупного рогатого скота с учетом суточной дозы микроэлементов соответственно: железо — 5–12 %, медь — 12–23 %, кобальт — 17–25%, цинк — 10–18 % и марганец — 3–7 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Георгиевский В.И. Минеральное питание животных // В.И. Георгиевский, Б.Н. Анненков, В.Т. Самохин. М.: Колос. 1979. 306 с.
2. Зайнабдиева Х.М. Алиментация стабилизированных микронутриентов — способ оптимизации физиолого-биохимических показателей крови / Х.М. Зайнабдиева Х.М., Д.Л. Арсанукаев / Материалы конференции «Ветеринарная медицина — теория, практика и обучение». С. — Пб, 2016.
3. Алексеева Л.В. Комплексные минеральные добавки и витамины в кормлении крупного рогатого скота / Л.В. Алексеева, — Тверь: Агросфера, 2008. — 309 с.
4. Кальницкий Б.Д. Минеральные вещества в кормлении животных / Б.Д. Кальницкий. — Агропромиздат, 1985. — 415 с.
5. Кальницкий Б.Д. Новые незаменимые микроэлементы в питании животных / Б.Д. Кальницкий // Сельскохозяйственная биология, 1986. — №6. — С. 64–69.
6. Арсанукаев, Д.Л. Роль комплексонов в улучшении ренального микроэлементного статуса / Арсанукаев Д.Л., Зайнабдиева Х.М. // Проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса Тверского региона: сб. научн. тр. — Тверь, 2002. — С. 100–102.
7. Беляев, В.И. Биохимический статус телят, получавших препараты селена / В.И. Беляев, Ю.Н. Алехин, С.В. Куркин, Л.Т. Туренкова // Ветеринария. — 2002. — №8. — С. 44–49.
8. Коваленок Ю.К. Влияние хелатов кобальта, цинка, меди и железа на организм лабораторных животных и крупного рогатого скота // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2011. № 1. С. 139–149.
9. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справоч. пособ. / А.П. Калашников, Н.И. Клейменов, В.И. Фисинин [и др.]. М., 2003. 456 с.
10. Овсянников А.И. Основы опытного дела в животноводстве. М.: Колос, 1976. 304 с.
11. Arsanukaev, D.L. Research of metabolism processes in the gastrointestinal tract and food value of broiler meat in detoxication of aflatoxins// Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, 2019 06 (11), 15423–15427.
12. Arsanukaev, D.L. Evaluation of morphological and biochemical parameters of blood and physical and chemical qualities of milk of cows with a reduced risk of // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, 2019, 06 (11), 15417–15422
13. Arsanukaev, D.L. Influence of enzyme preparations on the morphological and biochemical composition of the blood of broilers// Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences, 2019 06 (11), 15428–15433

# ЭКСПРЕССИЯ ГЕНОМА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА И ПЕРСПЕКТИВЫ НОВЫХ ДНК ТЕХНОЛОГИЙ

## EXPRESSION OF THE BOVINE TYPE EA COMMUTATIVE COMPLEX

**N. Bukarov  
T. Zamoshchenko**

*Summary.* The work informs livestock breeders about the most important modern technologies that can be developed for the successful breeding of breeding cattle. The use of modern scientific achievements in production activities makes it possible to increase the efficiency of breeding work, which is expressed in reducing the time to achieve breeding goals and in increasing the profitability of production, using information storage technology in DNA.

*Keywords:* genetic labeling, creation of breeding herds, non-genomic and full-genomic effects, genomic selection, selectiindices, genetic monitoring.

**Букаров Нурмагомед Гаджикулиевич**

Доктор биологических наук, профессор,  
руководитель лаборатории иммуно-генетической  
экспертизы, Министерство Сельского Хозяйства  
АО «Московское», г. Ногинск

**Замощенко Татьяна Юрьевна**

Заместитель руководителя лаборатории  
АО «Московское», г. Ногинск  
mos-genetics@yandex.ru

*Аннотация.* Работа информирует животноводов о наиболее значимых современных технологиях, которые могут быть разработаны для успешного разведения племенного крупного рогатого скота. Использование современных достижений науки в производственной деятельности позволяет повысить эффективность племенной работы, которая выражается в сокращении сроков достижения селекционных целей и в повышении рентабельности производства, с использованием технологии хранения информации в ДНК.

*Ключевые слова:* генетическое маркирование, использование технологии хранения информации в ДНК, создание племенных стад, неполногеномные и полногеномные эффекты, селекционные параметры, генетический мониторинг.

Развитие генетических технологий предусмотрено в стратегии научно-технологического развития РФ в области сельского хозяйства, на период до 2030 года — Указ Президента РФ № 680 от 28.11.2018. Переломным моментом в скотоводстве стала техника анализа генома животных по десяткам и даже сотням тысяч однонуклеотидных полиморфизмов (SNP). В российской практике полиморфные SNP получили название СНИП (Single Nucleotide Polymorphism) маркеров Р.

Выявление СНИПОВ, ассоциированных с признаками представляющих экономический интерес является актуальной. В частности, это относится к стадам с высоким уровнем удоя, т.е. более 10 000 кг молока год лактации. Эти животные характеризуются высоким содержанием в молоке жира и белка, улучшенной конверсией корма, продуктивным долголетием, оптимальными воспроизводительными качествами. Эти и ряд других параметров представляют интерес в качестве генетических маркеров. Использование генетических маркеров позволяет ускорить создание племенных стад. Новые маркеры могут быть использованы как неполногеномные и полногеномные. Так, современные исследования в этой области, при полном исследовании всего набора получили название полногеномных. В случае крупного рогатого скота это означает изучение роли всех 29 хромосом. Эти новые открытия, также позволяют ускорить улучшение племенного скота в течении 1 года.

Цель данной публикации-обсуждение актуальных в практическом плане вопросов разведения крупного рогатого скота. В данном сообщении обсуждаются вопросы о возможности и перспективности использования новых технологий в прикладной генетике.

В целом, исходя из предположения о том, что животные, в частности племенной скот, представляет большой интерес для изучения отклонений от обычного типа наследования генетических структур. В частности, можно допустить, что эти отклонения наследования генов, связаны с особенностями структуры ДНК, кодирующей механизм передачи генов потомству.

Несколько удивляет, то обстоятельство, что факты отклонения от классической модели, которые безусловно появлялись, в том числе в работах по молекулярной биологии ДНК крупного рогатого скота, на текущий момент не отмечены. В этом плане, цель нашей публикации еще и в том, чтобы привлечь внимание всего сообщества к продолжению этой работы, рассчитывая на получение новых теоретических и практических приложений, для практики разведения скота.

По нашему мнению, использование новых методических подходов, разработанных в лаборатории М.П. Никитина, могут быть перспективны в этих целях. Как известно, открытый российским исследователем прин-

ципиально новый механизм функционирования ДНК, названный им коммутационным, позволяет выявить неизвестные до сих пор явления на молекулярно-генетическом и информационном уровне. При этом, совершенно по новому воспринимается генетический механизм функционирования ДНК в живых организмах. С этой точки зрения, считаю целесообразным изложить эмпирические данные, полученные на крупном рогатом скоте, отклоняющиеся в том числе, от классического менделевского механизма наследования потомками аллелей групп крови родителей в полиаллельной (более 40 генов) EA системе (Erythrocytes antigen B-system), а также изучения вопросов генетики определения пола и их возможность практического использования. В случаях, когда дальнейшее повышение надоя молока не будет актуальной для хозяйства, открываются возможности отбора и подбора быков, проявляющих изменчивость.

По нашему мнению, использование новых методических подходов, разработанные в лаборатории М.П. Никитина, [1, 3, 4] могут быть перспективными в этих целях. Как известно, открытый российским исследователем принципиально новый механизм функционирования ДНК, названный им коммутационным, позволяет выявить неизвестные до сих пор явления на молекулярно-генетическом и информационном уровне. При этом совершенно по новому воспринимается генетический механизм функционирования ДНК в живых организмах. Иными словами, доминировавшее в течение более 70 лет представление о функционировании молекул ДНК только по принципу комплемента разности азотистых оснований по Уотсону и Крику [2] имеет ограничения. Центральным постулат этой классической схемы гласит, что «молекула ДНК имеет две спирально-закрученные цепи, связанные комплементарными парами азотистых оснований — аденин (А) — тимин (Т), гуанин (Г) и цитозин (Ц). В растительных клетках вместо цитозина присутствует урацил (У). Сформулированный до этого закон «комплементарности» т.е. о строгой специфичности пар азотистых оснований, при формировании «двойной спирали» стали считать фундаментальным принципом механизмов передачи информации в ДНК и процессах управления генами. Однако, такая простая ДНК модель

не способствовала существенному научному прогрессу в изучении функций структур генов. Таким образом, российский исследователь в год 70-летнего юбилея модели Уотсона и Крика, обогатил мировую науку чрезвычайно ценной генетической информацией, о механизмах передачи ее в живых организмах. Простота ранее изложенной модели не позволяла специалистам допустить существование иных путей передачи информации. В год 70-летия открытия Уотсона–Крика вышла на арену другое более значимое открытие Михаила Никитина. Его открытие круто изменило представление биологов и математиков о механизмах хранения и передачи информации. Поэтому полагаем, что в перспективе, характер и механизмы экспрессии коммутативного комплекса могут быть изучены на основе новых методических подходов.

**Материалы и методы**

Контроль достоверности происхождения крупного рогатого скота по группам крови проводили в гемолитических тестах, стандартными реагентами, изготовленными в лаборатории иммуногенетической экспертизы АО «Московское» по племенной работе.

В семейном анализе наблюдали, согласно действующей инструкции, за передачей генетической информации от родителей к потомству в 2 х семьях быка.

Подконтрольным быком–производителем от АО «Московское» по племенной работе выбрали работавший в подмосковном ООО «Совхозе Головково» Георгио–М 354794826. Его дочь Смурная 455, стала лауреатом выставки «Звезды Подмосковья–2022».

В нашем случае семя от Георгио-М. использована на двух его дочерях — 4240 и 4696 с известными 2 матерями. (Таблица 1).

Бык Георгио представлен в каталоге быков-производителей [5].

**Результаты**

Цель данной работы состоит в возможности изучения степени сходства параметров EA типа скота с использо-

Таблица 1.

Экспрессия коммутативного комплекса EA типа крупного рогатого скота

О. Георгио-М с матерями и потомками 3547–94826	ЕАВ-тип животных	ЕАС-тип животных	ЕАF-тип животных	ЕАL-тип животных	ЕАМ-тип животных	ЕАS-тип животных	Достоверность происхождения по родителям
	b/b	C1E2/c	F/F	I/I	m/m	H' H''/s	
М-4240	B2G2O2E2A' 2B' -D' E' 3F' Q' G''/b	C1E2/c	F/V	L/	m/m	S1H' /H' H''U''	
П 5671	B2G2O2E2A' 2B' -D' E' 3F' Q' G''/b	C1E2/c	F/V	L/I	m/m	H' H''U''/s	Родители соответствуют
М-4696	B2O2Y2A' 2D' E' 3F' G''/b	C2/R2W	F/F	L/	m/m	H' /s	
П-5798	B2O2Y2A' 2D' E' 3F' G''/b	C2/c	F/F			H' /s	Родители соответствуют

ванием новой техники работы с ДНК системой, открытой М. Никитиным. Мы исходим из допущения о потенциальной способности к выявлению у животных функционально близких генов.

В случае открытия, возможно стиновой схемы реагирования крупного рогатого скота с использованием ДНК техники, она может стать хорошим примером использования EA системы. В случае получения близких результатов, они могут быть использованы в геномной селекции

крупного рогатого скота. При выявлении общих генов, возникнет возможность использования селекционных индексов и генетического мониторинга племенных качеств у животных.

Таблица 1 содержит результаты, полученные по известным эритроцитарным генам. В дальнейшей работе планируем проведение оценки с новой ДНК системой, по схеме, открытой М. Никитиным.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Maxim P. Nikitin. Non-complementary strand commutation as a fundamental alternative for information processing by DNA and gene regulation. *Nature Chemistry* 15, 70–82(2023).
2. Watson, J.D. & Crick, F.H.C. Molecular structure of nucleic acids: a structure for deoxyribose nucleic acid. *Nature* 171, 737–738 (1953).
3. Nikitin, M.P. et al. Enhancement of the blood-circulation time and performance of nanomedicines via the forced clearance of erythrocytes. *Nat. Biomed. Eng.* 4, 717–731 (2020).
4. Nikitin, M.P., Shipunova, V.O., Deyev, S.M. & Nikitin, P.I. Biocomputing based on particle disassembly. *Nat. Nanotechnol.* 9, 716–722 (2014).
5. «Catalog of bulls of manufacturers 21023»/Zharov I.N. et al. — Moscow: ed. JSC Moskovskoye for breeding work — 2023. p.128.«Каталог быков производителей 21023»/Жаров И.Н. и др.-М: изд. АО «Московское» по племенной работе» — 2023. с.128.

---

© Букаров Нурмагомед Гаджикулиевич; Замощенко Татьяна Юрьевна (mos-genetics@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ ПРИ ГЕЛЬМИНТОЗАХ

MICROBIOLOGICAL DISORDERS  
IN HELMINTHIASIS

**A. Plieva  
Z. Dzarmotova  
Kh. Dudarova  
Ya. Temirkeeva**

*Summary.* The increase in the number of non-communicable chronic diseases, in particular allergic, autoimmune and oncological ones, has led to the relevance of scientific research on various mechanisms of population immunity. Minimizing the influence of microbiotic communities (helminths) on the host's holistic immune system due to improved hygiene conditions in developed world powers is considered as a key risk factor for the formation and further development of non-communicable chronic diseases. Scientific studies have shown that both intestinal parasites and parasite waste products modulate the body's immune response. An increase in the concentration of gastrointestinal bacteria with anti-inflammatory properties can be identified as a pathogenetic mechanism of such modulation. Due to the emergence of modern technologies and methods of identification of microorganisms, it has become possible to significantly expand knowledge about the microbiota in various pathologies. Today, the analysis of microbiota modification in the digestive tract of the host organism is an urgent task. Solving this problem opens up new opportunities in the diagnosis, prevention and monitoring of allergic and intestinal diseases. The scientific significance is determined by the fact that, based on the hypothesis of 'old friends', helminths and microbiota, which coexisted with humans throughout evolution, have been determined to be important in the regulation of individual immunity.

The research methodology is determined by determining the composition of the body's microflora. The purpose of the study is to present an expanded analysis of modern epidemiological and experimental studies in the field of evaluating the symbiosis of helminthic invasions and the microbiota of the digestive tract in order to identify possible mechanisms and tools for the prevention of non-communicable chronic diseases. *Results and conclusions:* it was determined that the reduction in the prevalence of helminthiasis in the population is the most important risk factor (threat) for the development of chronic non-communicable diseases. Experimental and epidemiological studies have confirmed the special importance of helminths in regulating the immune response in children, minimizing activity in autoimmune (allergic) inflammatory diseases. In our opinion, there are broad prospects for the development of qualitatively new therapeutic and preventive strategies in relation to non-communicable chronic diseases.

*Keywords:* microbial flora, enterobiosis, ascariasis, helminths, microecological equilibrium, disorders of intestinal biocenosis.

**Плиева Айшет Магомедовна**

Доктор биологических наук, профессор, Ингушский  
Государственный Университет, г. Магас, Россия  
aishet57@mail.ru

**Дзармотова Залина Иссаевна**

кандидат биологических наук, доцент, Ингушский  
Государственный Университет, г. Магас, Россия  
dzarmotova@yandex.ru

**Дударова Хадишат Юсуповна**

кандидат биологических наук, доцент, Ингушский  
Государственный Университет, г. Магас, Россия  
dhadishat@yandex.ru

**Темиркеева Ясмينا Магомедовна**

Ассистент, Ингушский Государственный Университет,  
г. Магас, Россия  
tyasmina@mail.ru

*Аннотация.* Повышение числа неинфекционных хронических заболеваний, в частности аллергических, аутоиммунных и онкологических привело к актуальности научных исследований различных механизмов популяционного иммунитета.

Минимизация влияния микробиотических сообществ (гельминтов) на целостную иммунную систему хозяина вследствие улучшения в развитых мировых державах условий гигиены рассматривается как ключевой фактор риска формирования и дальнейшего развития неинфекционных хронических болезней. В научных исследованиях отражено, что как кишечные паразиты, так и продукты жизнедеятельности паразитов модулируют иммунный ответ организма. В качестве патогенетического механизма подобной модуляции можно выделить рост концентрации бактерий ЖКТ с противовоспалительными свойствами. Вследствие возникновения современных технологий и методов идентификации микроорганизмов возможным стало значительно расширить знания при разных патологиях о микробиоте. Сегодня анализ модификации микробиоты в пищеварительном тракте организма хозяина выступает актуальной задачей. Решение данной задачи открывает новые возможности в диагностике, профилактике и мониторинге аллергических заболеваний и заболеваний кишечника.

*Научная значимость* определяется тем, что на основании гипотезы 'old friends' гельминты и микробиота, которые с человеком сосуществовали на протяжении эволюции, определено значение в осуществлении регуляции иммунитета индивида.

*Методология исследования* определяется определением состава микрофлоры организма.

*Цель исследования* состоит в представлении расширенного анализа современных эпидемиологических и экспериментальных исследований в области оценки симбиоза гельминтных инвазий и микробиоты пищеварительного тракта с целью определения возможных механизмов и инструментов профилактики неинфекционных хронических болезней.

*Результаты и выводы:* определено, что сокращение в популяции распространенности гельминтозов являются важнейшим фактором риска (угрозы) развития хронических неинфекционных болезней. Экспериментальные и эпидемиологические подтвердили особое значение гельминтов при регуляции у детей иммунного ответа, минимизации активности при аутоиммунных (аллергических) заболеваниях воспалений. На наш взгляд, в отношении неинфекционных хронических заболеваний имеются широкие перспективы разработки качественно новых терапевтических и превентивных стратегий.

*Ключевые слова:* микробная флора, энтеробиоз, аскаридоз, гельминты, микроэкологическое равновесие, нарушения кишечного биоценоза.

## Введение

Энтеробиоз и аскаридоз входят в категорию наиболее распространенных регистрируемых по всему миру паразитарных болезней. Каждый год примерно 650000000 человек заражаются аскаридозом, а энтеробиозом — около 460000000 [5]. Ежегодно на территории РФ выявляется два миллиона больных нематодозами, но их реальное количество, учитывая поправочные коэффициенты, составлять может не меньше 22000000 [2]. Данные инвазии наиболее часто на практике встречаются в детском возрасте.

У детей гельминты часто способствуют появлению дисфункций ЖКТ, хронических расстройств пищеварения, интоксикации, ослабления иммунитета и сенсibilизации организма.

## Литературный обзор

После проникновения в организм гельминты могут нарушить в кишечнике хрупкое микробиологическое равновесие, разбалансировать микробную флору [4]. Нередко различные микробиологические нарушения выступают пусковыми механизмами появления, а после — поддержания патологий. Таким образом, высокая актуальность изучения кишечного биоценоза у пациентов с инвазией острицами (аскаридами) сомнений не вызывает. Вместе с тем, данные о различных нарушениях кишечного биоценоза при гельминтозах крайне скудна в зарубежной и отечественной литературе.

В обобщающих широкий спектр данных научных исследований по микробиологии (гельминтологии) со-

временных обзорных работах (Шендеров, 1998; Чебышев, 1998; Поздеев, Покровский, 1998), или есть лишь упоминание о потенциальном влиянии на микрофлору кишечника гельминтов, или о подобном влиянии вообще никаких сведений нет.

## Материалы и методы

Знание при гельминтозах специфики биоценоза кишечника важно также для того, чтобы эффективно диагностировать на базе результатов клинко-микробиологического сравнительного анализа латентные стадии исследуемых инвазий.

В таблице 1 можно ознакомиться с полученными в результате сопоставления показателей кишечного биоценоза по 150 детям с установленным присутствием нематод (остриц, аскарид) у них с другой группой, включающей 113 детей без инвазии данными.

Мы решили, располагая представленными в таблице 1 данными, уточнить диагностические коэффициенты, а также сформулировать основное правило для различных показателей состояния биоценоза кишечника в качестве критериев при реализации диагностики гельминтозов. Проводилась диагностика состояния кишечного биоценоза у пациентов с кишечными нематодозами и в группе сравнения ( $p$  — показатель уровня значимости разницы в результатах) [3].

Таким образом, мы установили на базе результатов проведенного исследования отраженные в таблице 2 значения коэффициентов диагностики.

Таблица 1.

Состояние кишечного биоценоза у пациентов с кишечными нематодозами и в группе сравнения

Отклонения от нормы показателей биоценоза	Доля детей с зафиксированными отклонениями		
	по группе № 1 (150)	по группе № 2 (113)	$p$
Сокращение концентрации кишечной палочки, характеризующейся нормальной (< 300 млн/г) ферментативной активностью	94	37,2	<0,001
Увеличение кишечной палочки с пониженной ферментативной активностью > 10 % от совокупного количества палочки	30,7	15,9	<0,005
Содержание лактозонегативных энтеробактерий > 5 % от совокупного количества палочки	24	27,4	> 0,05
Содержание любого количества гемолизирующей палочки	30	24,8	> 0,05
Содержание кокковой флоры в превышающих от совокупной суммы микробов 25 % количествах	26,7	11,5	< 0,002
Содержание гемолизирующих кокков в любой концентрации	20	13,3	> 0,05
Сокращение на два порядка и менее числа бифидобактерий ( $\leq 10^7$ )	29,3	31,9	> 0,05
Сокращение на два порядка и менее числа лактобактерий ( $\leq 10^5$ )	56	39,8	< 0,01
Содержание грибов Candida	8	0	< 0,001
Общее количество детей с зафиксированными отклонениями показателей биоценоза от нормы	99,3	88,5	< 0,001

Правильный диагноз энтеробиоз (аскаридоз) возможен при сумме + 13 коэффициентов диагностики (погрешность — 5 %), при + 20 (погрешность — 1 %), + 30 (погрешность — 0,1 %).

Таблица 2.

Диагностические коэффициенты (по параметрам биоценоза) [1]

Параметр	Диагностический коэф-т	
	+	-
Наличие признака	+	-
Сокращение концентрации кишечной палочки, характеризующейся нормальной активностью ферментов < 300 млн/г	+ 4	-10
Увеличение концентрации кишечной палочки, характеризующейся низкой активностью ферментов > 10 % от совокупного содержания кишечной палочки	+ 3	-1
Содержание кокковой флоры в превышающих от суммы микробов 25 % количествах	+ 4	-1
Значительное сокращение лактобактерий — на два порядка и менее < 10 <sup>5</sup>	+ 1	-1
Различные нарушения кишечного биоценоза	0	-12

### Результаты

Следовательно, при обнаружении у ребенка пониженной концентрации кишечной палочки, характеризующейся нормальной активностью ферментов, и в особенности — при сочетании данного параметра с увеличенной концентрацией кишечной палочки, характеризующейся ослабленной активностью ферментов, а также присутствием повышенного содержания кокковой флоры (пониженного — лактобактерий).

Необходимо рассматривать среди всех других причин формирования и развития кишечного дисбактериоза, возможность инвазии *Enterobius vermicularis* (*Ascaris lumbricoides*).

Таким образом, отсутствие вышеуказанных микробиологических отклонений и дисбактериоза кишечника значительно минимизирует потенциальную вероятность появления инвазии нематодами.

Подобные исследования также были реализованы для ряда клинических проявлений. По ним были определены соответствующие диагностические коэффициенты, отраженные в таблице 3.

### Обсуждение

Таким образом, диагноз энтеробиоз (аскаридоз) возможен при сумме коэффициентов + 13 (погрешность — 5 %), а также + 20 (погрешность — 1 %), + 30 (погрешность

Таблица 3.

Диагностические коэффициенты (согласно клиническим проявлениям) [1]

Клинический признак	Диагностический коэф-т	
	+	-
Наличие признака	+	-
Дисфункция ЖКТ	+ 6	-5
Аллергические проявления	+ 4	-4
Нарушения аппетита	+ 10	-2
Абдоминальный синдром	+ 13	-2
Нарушения сна	+ 13	-3
Бруксизм	+ 13	-1
Иммунологическая недостаточность	+ 13	-1
Анальный зуд (экскориация)	+ 16	-2

–0,1 %). Следовательно, наличие такой симптоматики у детей, как нарушения сна и аппетита, анальная экскориация и др. позволяет подозревать инвазию острицами (аскаридами) с зафиксированной вероятностью ошибки, составляющей 5 %.

Вероятность постановки диагноза гельминтоза значительно увеличивает рост до + 20 (+ 30) суммы коэффициентов диагностики, а также сочетание установленных симптомов.

### Заключение

Мы приходим к выводу, обобщая результаты исследований, о том, что сокращение в популяции распространенности гельминтозов представлено как важнейший фактор риска (угрозы) развития хронических неинфекционных болезней (аутоиммунных, аллергических и т.п.).

Экспериментальные и эпидемиологические подтверждают особое значение гельминтов при регуляции у детей иммунного ответа, минимизации активности при аутоиммунных (аллергических) заболеваниях воспалений. На наш взгляд, в отношении неинфекционных хронических заболеваний широкие перспективы разработки качественно новых терапевтических и превентивных стратегий представляет анализ механизмов взаимодействия на фоне инвазий микробиотической компоненты пищеварительного тракта.

Результаты исследования могут быть востребованы научными, учебными, лечебно-профилактическими учреждениями и организациями медико-биологического профиля.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гельминтозы в клинической практике педиатра: вопросы диагностики, терапии, профилактики [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.rmj.ru/articles/pediatriya/Gelymintozy\\_v\\_klinicheskoy\\_praktike\\_pediatra\\_voprosy\\_diagnostiki\\_terapii\\_proflaktiki/](https://www.rmj.ru/articles/pediatriya/Gelymintozy_v_klinicheskoy_praktike_pediatra_voprosy_diagnostiki_terapii_proflaktiki/).
2. Медицинская микробиология : [Учеб. пособие для студентов мед. вузов, интернов, ординаторов, врачей-курсантов учреждений дополн. проф. образования] : [Справочник] / [Байчурина А.З. и др.]; Гл. ред. В.И. Покровский, О. К. Поздеев. — Москва : ГЭОТАР МЕДИЦИНА, 1999. — 1183 с. :ил., табл.; 24 см. — (Серия учебной литературы для студентов медицинских вузов и врачей.); ISBN 5-88816-048-2
3. Давыдова И.В. Гельминтозы регистрируемые на территории Российской Федерации, эпидемиологическая ситуация, особенности биологии паразитов, патогенез, клиника. Диагностика, этиотропная терапия. *Consilium medicum*. 2017. № 19(8). С. 32–40.
4. Кузнецов О.Е., Гутько А.Г. Паразитарные инвазии в детском возрасте [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://rep.bsmu.by/bitstream/handle/BSMU/22623/10.pdf?sequence=1&isAllowed=y&ysclid=lunpxu0pd285401194>.
5. Чебышев Н.В. Гельминтозы [Текст]: Органно-систем. процессы в их патогенезе и лечении / Н.В. Чебышев, Ю.К. Богоявленский, Е.А. Гришина; Моск. мед. акад. им. И.М. Сеченова. — Москва: Медицина, 1998. — 235 с.: ил., портр.; 22 см.; ISBN 5-225-04519-7
6. Шендеров Б.А. Медицинская микробная экология и функциональное питание. М.: Грантъ. 1998. Т. 1: Микрофлора человека и животных и ее функции: биопленка, кожа и слизистые, иммунные механизмы. 1998. 286 с.
7. Chan M.S. The global burden of intestinal nematode infections — fifty years on. // *Parasitol. Today*. 1997. Vol. 13 (11). P. 438–443.

---

© Плиева Айшет Магомедовна (aishet57@mail.ru); Дзармотова Залина Иссаевна (dzarmotova@yandex.ru);  
Дударова Хадисат Юсуповна (dhadishat@yandex.ru); Темиркеева Ясмينا Магомедовна (tyasmina@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВЛИЯНИЕ АКТИВНЫХ ФОРМ КИСЛОРОДА НА СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛАКТАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ МОЗГА КРЫС

## INFLUENCE OF ACTIVE OXYGEN SPECIES ON STRUCTURAL AND FUNCTIONAL PARAMETERS OF BRAIN LACTATE DEHYDROGENASE

**R. Khalilov  
A. Jafarova  
Z. Rabadanova  
M. Jafarov**

*Summary.* The activity and some physicochemical parameters of rat brain lactate dehydrogenase (LDH) were studied in a model chemical system that generates ROS (Fenton's medium). It was found that the activity of LDH in the brain of rats decreases, and the rate of inactivation of the enzyme is nonlinear in time. A study of the intrinsic fluorescence of LDH showed a decrease in the intensity of the total fluorescence of LDH, which may indicate small conformational changes in the structure of the enzyme. At the same time, a study of the content of sulfhydryl and carbonyl groups in the LDH molecule found that a decrease in LDH activity negatively correlates with an increase in the content of carbonyl groups and positively correlates with a decrease in the content of sulfhydryl groups in the LDH preparation.

*Keywords:* rats, oxidative stress, lactate dehydrogenase, reactive oxygen species.

**Халилов Рустам Абдуразакович**

К.б.н., доцент, Дагестанский государственный университет, (г. Махачкала)  
dagbiofak@mail.ru

**Джафарова Альбина Мехьядиновна**

К.б.н., доцент, Дагестанский государственный университет, (г. Махачкала)  
albina19764@mail.ru

**Рабданова Зухра Гусейновна**

К.б.н., доцент, Дагестанский государственный университет, (г. Махачкала)  
r.zukhra@yandex.ru

**Джафаров Мурсал Биниевич**

Астраханский государственный медицинский университет  
mursal-dag@mail.ru

*Аннотация.* Исследована активность и некоторые физико-химические параметры лактатдегидрогеназы (ЛДГ) мозга крыс в модельной химической системе, генерирующей АФК (среде Фентона). Обнаружено, что активность ЛДГ мозга крыс убывает, причем это скорость инактивации фермента не линейна во времени. Исследование собственной флуоресценции ЛДГ показало снижение интенсивности общей флуоресценции ЛДГ, что может свидетельствовать о небольших конформационных изменениях структуры фермента. В то же время, исследование содержания сульфгидрильных и карбонильных групп в молекуле ЛДГ обнаружило, что снижение активности ЛДГ отрицательно коррелирует с повышением содержания карбонильных групп и положительно коррелирует со снижением содержания сульфгидрильных групп в препарате ЛДГ.

*Ключевые слова:* крысы, оксидативный стресс, лактатдегидрогеназа, активные формы кислорода.

Процессы метаболизма кислорода в организме связаны с образованием активных форм кислорода (АФК), обладающих выраженной реакционной способностью. Любая стрессорная реакция организма сопровождается кратковременным подъемом АФК и развитием окислительного стресса [3]. Показано, что состояние оксидативного стресса развивается при многих экстремальных состояниях: гипоксии, гипотермии, гипертермии. Уже установлено, что свободные радикалы участвуют в патогенезе множества заболеваний человека [1]. Процессы старения организма также развиваются на фоне оксидативного стресса [6].

К окислительному стрессу особенно чувствительны ткани, для которых характерна высокая скорость потре-

бления кислорода. Это в первую очередь относится к головному мозгу. Высокая чувствительность мозга к окислительному стрессу обусловлена его биохимическими, физиологическими и анатомическими особенностями [12].

Особый интерес может представлять влияние АФК на ферменты, выполняющие в мозге важнейшие физиологические и метаболические функции, в частности лактатдегидрогеназу.

### Цель работы

Исследование влияния АФК на структурно-функциональные параметры ЛДГ мозга крыс.

## Материал и методы

Опыты проводились на белых ненаркотизированных (аутбрендных) крысах Wistar массой 220–230 г, полученных из питомника «Столбовая» (НЦБМТ ФМБА России) и содержащихся в стандартных условиях вивария (средняя температура воздуха — 26°C, влажность воздуха — 40–60 %) Дагестанского государственного университета. Эксперименты выполнены с соблюдением Приказа Минздрава России № 199н от 01.04.2016 г. («Правила надлежащей лабораторной практики»). Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием животных, соответствовали этическим стандартам, утвержденным правовыми актами РФ, принципам Базельской декларации и рекомендациям. Во избежание возрастных и суточных колебаний на результаты экспериментов, опыты проводили в одно и то же время дня (с 9 до 11ч).

Ферментативный препарат получали посредством высаливания с последующим диализом.

Животное декапитировали, выделяли мозг, очищали от кровеносных сосудов. Навеску ткани (1 г) измельчали и гомогенизировали в 4-х кратном объеме буфера содержащий ЭДТА и дитиотреитол (0,0019 г на 25 мл буфера). Затем гомогенат центрифугировали 30 мин при 10000g. Далее измеряли объем экстракта. К полученному объему медленно добавляли мелкоизмельченный сульфат аммония, перемешивали еще в течение 30 мин., затем центрифугировали в течение 1 часа при 20000 g. Осадок отбрасывали и определяли его объем супернатанта. К полученному раствору снова добавляли сульфат аммония; после добавления последней порции соли раствор продолжали перемешивать еще в течение 30 мин, а затем центрифугировали 1 час при 20000 g. Супернатант отбрасывали. Осадок, содержащий лактатдегидрогеназу, растворяли в буфере, содержащем дитиотреитол, переливали в диализные мешки и погружали в стакан с большим объемом фосфатного буфера, оставляли на ночь. На следующий день ферментативный препарат замораживали и хранили при температуре –70°C.

Содержание белка определяли по методу Лоури [9].

## Индукция свободно-радикальных процессов in vitro в модельной системе

Для индукции свободно-радикальных процессов использовали среды Фэнтонна, содержащие различные концентрации перекиси водорода ( $H_2O_2$ ) и сульфата железа ( $FeSO_4$ ). Суспензию препарата ЛДГ добавляли в среду Фэнтонна и инкубировали в термостате при 37°C. Через равные промежутки времени отбирали аликвоты, в которых определяли активность ЛДГ, содержание карбонильных и сульфгидрильных групп, а также собственную флуоресценцию ЛДГ.

Активность ЛДГ определяли по убыли содержания НАДН в реакционной смеси в результате энзиматического восстановления пирувата в лактат, что регистрировалось спектрофотометрически (при длине волны 340 нм). Реакционная смесь содержала 2,4 мл 0,1 М фосфатного буфера (pH 7,4), 0,3 мл раствора пирувата натрия, 0,3 мл 1 мМ раствора НАД•H<sub>2</sub> и 0,05 мл тканевого экстракта. По результатам строили графики концентрационной зависимости.

Концентрацию SH-групп измеряли колориметрическим методом.

Степень окислительной модификации фермента оценивали по содержанию в них карбонильных групп [14].

Измерения собственной флуоресценции лактатдегидрогеназы проводили на спектрофлуориметре Hitachi F-7000 с автоматической коррекцией спектров. Спектр флуоресценции снимали в диапазоне  $290 \text{ нм} \leq \lambda \leq 400 \text{ нм}$  при длине волны 280 нм (суммарная флуоресценция) и 295 нм (триптофановая флуоресценция). Обработку спектров производили в программе Origin 8.6. Среднестатистические спектры флуоресценции получали путем усреднения спектральных линий, полученных в повторных экспериментах (n=8) с использованием Фурье фильтрации (по 5 точкам).

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью компьютерной программы Statistica. Рассчитывали параметры M — средняя арифметическая и m — средняя ошибка средней арифметической. При сравнительной оценке двух величин вычисляли критерий достоверности Стьюдента. Различия считались достоверными при  $p < 0,05$ .

## Результаты и обсуждения

*Исследование эффектов АФК, генерируемых in vitro, на структурно-функциональные параметры ЛДГ мозга крыс*

Исследовано влияние АФК на активность ЛДГ мозга крыс при инкубации очищенного ферментативного препарата в классической среде Фэнтонна, содержащей  $10^{-3} \text{ M } FeSO_4$ ,  $3 \cdot 10^{-4} \text{ M } H_2O_2$  и  $10^{-3} \text{ M } ЭДТА$  [14].

Исследование показало, что в такой модельной системе активность ЛДГ во времени убывает. Так, в течение 10 минут инкубации активность фермента снизилась на 16 %, за 20 минут инкубации — на 47,6 % и за 30 минут — на 54,6 %. При этом дальнейшая инкубация фермента в среде Фэнтонна не сопровождается изменениями его активности.

Интересно то, что активность фермента, измеренная в среде Фэнтонна сразу же после добавления — на

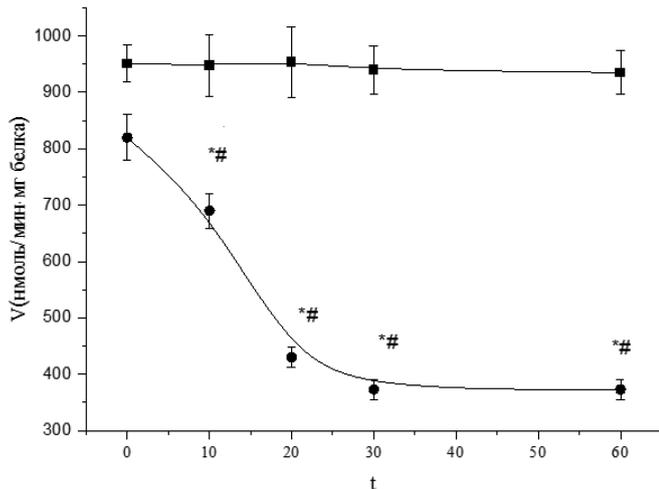


Рис. 1. Кинетика изменения активности ЛДГ мозга крыс в среде, содержащей буфер (контроль — ■) и среде Фентона (●), содержащей:  $10^{-3}$ М  $\text{FeSO}_4$ ;  $3 \cdot 10^{-4}$ М  $\text{H}_2\text{O}_2$ ;  $10^{-3}$ М ЭДТА. Температура инкубации —  $37^\circ\text{C}$ .  
Примечание: \* — достоверность отличий относительно начальной активности ЛДГ, # — достоверность отличий относительно контроля.

Начальная активность, оказалась ниже таковой контроля на 13,8 %. Это свидетельствует о том, что АФК, генерируемые в среде Фентона, с высокой скоростью, уже за несколько секунд экспозиции фермента в среде (время, затраченное на перемешивание реагентов) приводят к снижению активности фермента. Это снижение становится наиболее выраженным на 20-й минуте инкубации. Из рис. 1 видно, что инкубация фермента в буфере за этот же промежуток времени приводит лишь к очень незначительному снижению активности фермента. Особое внимание обращает на себя тот факт, что в первые 20 минут инкубации скорость инактивации ЛДГ высокая и составляет примерно 0,096 ед. активности в мин. После 20 минут инкубации скорость снижается, составляя 0,031 ед. активности в мин.

Окислительная модификация отдельных аминокислотных остатков сопровождается глубокими нарушениями структурной организации белков [1]. Происходит изменение молекулярной массы белков (агрегация или фрагментация), денатурация, повышение гидрофобности, снижение изоэлектрической точки, связанное с потерей основных аминокислотных остатков (лизина, аргинина, гистидина), или превращением в результате окисления гистидиновых, пролиновых и цистеиновых остатков в аспарагиновые, глутаминовые и цистеиновые, соответственно. Окисление белков увеличивает вероятность их протеолитического распада. Ответственным за протеолиз окисленных белков в клетках млекопитающих является протеасомный комплекс [13]. Селективный протеолиз может предотвратить накопление в клетке окисленных белков. В противном случае последние образуют агрегаты в связи с увеличением

гидрофобных взаимодействий и дополнительных ковалентных сшивок между молекулами.

Таким образом, окисление боковых радикалов белков приводит к образованию таких продуктов, как карбонильные группы и дисульфиды, которые используются в качестве маркеров окислительного повреждения белков [1]. Содержание дисульфидов увеличивается вследствие окисления сульфгидрильных групп остатков цистеина. Таким образом, по содержанию сульфгидрильных и карбонильных групп в молекуле фермента можно судить о степени её окислительной модификации посредством АФК.

*Исследование динамики изменения содержания сульфгидрильных групп в препарате ЛДГ мозга крыс*

Была исследована динамика изменения содержания SH-групп в препарате ЛДГ инкубируемом в среде Фентона, содержащей  $10^{-3}$ М  $\text{FeSO}_4$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$ М  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $10^{-3}$ М ЭДТА.

Оказалось, что инкубация приводит к снижению содержания сульфгидрильных групп за 10 минут на 14,6 %, за 20 минут — на 66,4 % и за 60 минут — на 72,4 %. При этом за этот же период времени изменения содержания SH-групп в контрольном препарате весьма незначительны. Так, например, за 60 минут инкубации содержание SH-групп снижается только на 7 %.

Уровень сульфгидрильных (тиоловых) групп, принадлежащих остаткам цистеина, является важным маркером окислительной модификации белков. Тиоловые группы играют ключевую роль в структуре и катализе ферментов; однако из-за их реактивной природы, они часто являются мишенями свободных радикалов [11]. В условиях окислительного стресса SH-группы белков депротонируются с образованием дисульфидов. Причем это окисление может носить обратимый характер [1]. Несмотря на то, что остатки цистеина не принимают прямое участие в катализе, они могут играть важную роль в формировании функционально значимой конформации ЛДГ [15]. Было показано, что модификация пяти ключевых остатков цистеина в молекуле ЛДГ свободными радикалами способствует изменению её пространственной конфигурации [7].

*Исследование содержания карбонильных групп в препарате ЛДГ мозга крыс*

Исследование содержания карбонильных групп в препарате ЛДГ, инкубируемом в среде Фентона, показало, что количество карбонильных групп во времени инкубации увеличивается (рис. 3).

Это нарастание не носит линейный характер. Наиболее значимое повышение карбонильных групп на-

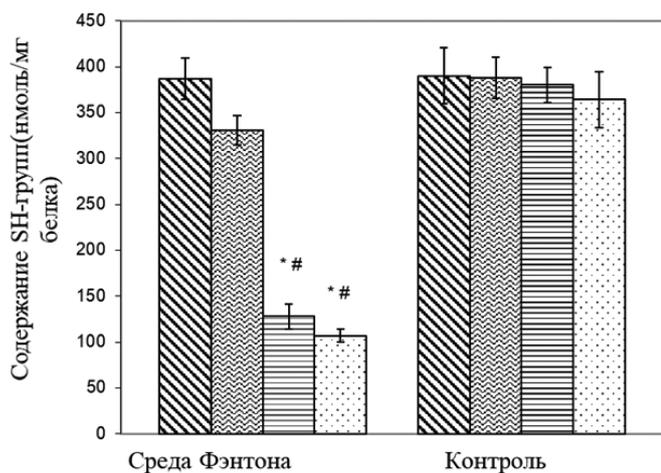


Рис. 2. Динамика изменения содержания сульфгидрильных групп в препарате ЛДГ, инкубированного в среде Фэнтонa, содержащей:  $10^{-3}$ М  $\text{FeSO}_4$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$ М  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $10^{-3}$ М ЭДТА.

Примечание: \* — достоверность отличий относительно начальных значений, # — достоверность отличий относительно контроля.

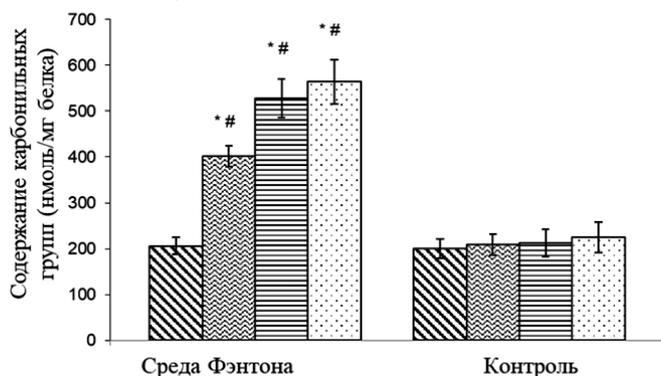


Рис. 3. Динамика изменения содержания карбонильных групп в препарате ЛДГ, инкубированного в среде Фэнтонa, содержащей:  $10^{-3}$ М  $\text{FeSO}_4$ ,  $3 \cdot 10^{-4}$ М  $\text{H}_2\text{O}_2$  и  $10^{-3}$ М ЭДТА.

Примечание: \* — достоверность отличий относительно начальных значений, # — достоверность отличий относительно контроля.

блюдалось в первые 10 минут инкубации и составляет 95,4 %. Дальнейшая инкубация фермента в среде также приводит к повышению карбонильных групп (в 2,6 раз за 20 минут и 2,77 раз 60 минут). Однако, это повышение не столь драматично по сравнению с содержанием карбонильных групп в препарате ЛДГ, экспонированном в среде Фэнтонa в течение 10 минут. Из рис. 3 видно, что в контроле содержание карбонильных групп за весь период инкубации фермента в буферном растворе содержание карбонильных групп мало изменяется. Оно становится заметным только на 60-й минуте инкубации, однако это повышение статистически не достоверно и составляет всего лишь 12,1 %.

Корреляционный анализ выявил наличие отрицательной корреляции ( $r = -0.88$ ) между снижением активности ЛДГ и накоплением карбонильных групп в ферментативном препарате в условиях генерации радикалов кислорода.

Известно, что карбонильные производные в белках образуются в результате металлкатализируемого окисления пролиновых, аргининовых, лизиновых, гистидиновых остатков аминокислот [5]. Было показано, что по сравнению с другими формами окислительной модификации белков, механизм их карбонилирования гораздо сложнее, и эта реакция необратима [8]. Поэтому карбонильные группы белков могут являться надежными маркерами окислительной модификации.

Известно, что остатки аргинина171 и гистидина195, локализованные глубоко от поверхности фермента в активном центре ЛДГ, играют важную роль в катализе фермента [10]. Обнаружено, что их химические модификации могут привести к существенному снижению активности ЛДГ [15].

Таким образом, результаты нашего исследования свидетельствуют в пользу того, что ингибирование ЛДГ под действием радикалов кислорода может быть связано с окислительной модификацией остатков положительно заряженных аминокислот, локализованных в активном центре фермента.

*Исследование динамики изменений спектров флуоресценции ЛДГ мозга крыс, инкубированной в среде Фэнтонa*

Для выяснения возможных механизмов влияния АФК на активность ЛДГ была использована флуоресцентная спектроскопия. Результаты анализа интенсивности суммарной ( $\lambda_{\text{возб}} = 280$  нм) флуоресценции ЛДГ в зависимости от времени инкубации фермента с реактивом Фэнтонa представлены на рис. 4.

Как видно из рис. 4 максимум интенсивности суммарной флуоресценции ЛДГ наблюдается при  $\lambda = 333$  нм, что может свидетельствовать об основном вкладе в спектр флуоресценции белка остатков триптофана [4]. Это возможно в том случае, когда основная масса триптофановых остатков ЛДГ находится примерно в одинаковом гидрофобном или в достаточно жестком окружении. Было показано, что ядро молекулы ЛДГ отличается достаточно высокой степенью гидрофобности [10]. В полученных спектрах флуоресценция остатков тирозина не обнаруживается, так как значительная доля энергии возбуждения с остатков тирозина мигрирует на триптофаны и высвечивается в качестве триптофанового компонента [2]. На рис. 4 видно, что с увеличением времени инкубации снижается интенсивность флуоресцен-

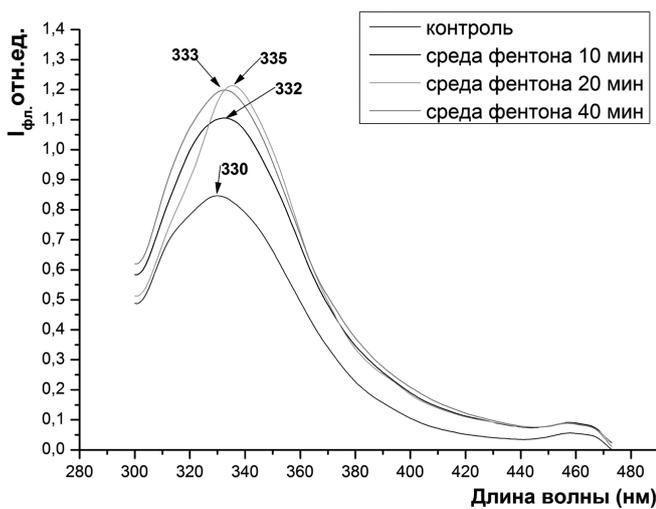


Рис. 4. Динамика изменения спектров флуоресценции ЛДГ мозга крыс, инкубированной в среде Фентона, содержащей  $10^{-3}\text{M FeSO}_4$ ,  $3 \cdot 10^{-4}\text{M H}_2\text{O}_2$  и  $10^{-3}\text{M ЭДТА}$

ции остатков триптофана, а также происходит смещение пика флуоресценции на 2–5 нм относительно контроля. Эти результаты свидетельствуют о том, что индольное кольцо остатков триптофана в пробе больше экспонируется в среду (растворитель), чем у нативного фермента. Следовательно, радикалы кислорода способствуют разворачиванию молекулы ЛДГ. Относительно небольшое

смещение пика флуоресценции свидетельствует о не-больших конформационных изменениях структуры ЛДГ за период инкубирования ферментативного препарата с реактивом Фентона. Таким образом, смещение пика флуоресценции в красную область может свидетельствовать о том, что под действием радикалов кислорода ЛДГ переходит в состояние «расплавленной глобулы». При этом снижение интенсивности собственной флуоресценции может свидетельствовать об окислении остатков ароматических кислот АФК, генерируемые в среде Фэнтона.

Таким образом, исследование динамики изменения активности ЛДГ мозга крыс в среде Фентона, содержащей  $10^{-3}\text{M FeSO}_4$ ,  $3 \cdot 10^{-4}\text{M H}_2\text{O}_2$  и  $10^{-3}\text{M ЭДТА}$ , показало, что активность фермента со временем снижается. Причем это снижение отрицательно коррелирует с повышением содержания карбонильных групп и положительно коррелирует (за исключением первых 10 минут инкубации) со снижением содержания сульфгидрильных групп в препарате ЛДГ. Данные флуоресцентной спектроскопии также свидетельствуют о существенных изменениях в интенсивности и спектрах флуоресценции ЛДГ, инкубированной в среде Фентона, указывающими на разворачивание белковой молекулы и окисление остатков ароматических аминокислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубинина Е.Е. Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток. Жизнь и смерть, созидание и разрушение монография СПб. 2006. — 400 с.
2. Дюбко Т.С. О некоторых аспектах применения флуоресцентного анализа в криобиологии. Собственная флуоресценция белков. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: біологія. 2006. 3 (729): 221–231.
3. Меньщикова Е.Б. Окислительный стресс. Патологические состояния и заболевания. 2008. 284 с.
4. Онищенко Е.Н., Дюбко Т.С., Семенченко А.Ю. Влияние низкомолекулярных криопротекторов и замораживания на флуоресцентные свойства микросомальных белков. Актуальные проблемы медицины и биологии: Сб. научн. трудов. 2004. — 106–117.
5. Фомина М.А., Абаленихина Ю.В. Способ комплексной оценки содержания продуктов окислительной модификации белков в тканях и биологических жидкостях: методические рекомендации. Рязань: РИО РязГМУ. 2014. — 60 с.
6. Хавинсон В.Х. и др. Свободнорадикальное окисление и старение. — СПб.: Наука, 2003. — 327 с.
7. Boike L. «An analysis of oxidative damage to lactate dehydrogenase in context of neurodegeneration and catechol-based phenolic antioxidant chemistry». Undergraduate Honors Theses. 2017. — 1144.
8. Dalle-Donne I., Ross R., Guistarini D., Milzani A., Colombo R. Clinica Chimica Acta. 2003. 329. — 23–38.
9. Lowry D.H., Rosembrough H.J., Farr A.L. Protein measurement with the Pholin phenol reagent. J. Biol. Chem, 1951. 193. 265–275.
10. McClendon S, Zhadin N, Callender R. The approach to the Michaelis complex in lactate dehydrogenase: the substrate binding pathway. Biophys J. 2005. 89(3): — 2024–2032. doi: 10.1529/biophysj.105.062604
11. Poole L. B. The Basics of Thiols and Cysteines in Redox Biology and Chemistry Free Radic Biol Med. 2015. 148-157. doi:10.1016/j.freeradbiomed
12. Sayre L.M. Chem. Res. Toxicol. 2008. (21): 172–188.
13. Shringarpure R, Grune T, Davies KJ. Protein oxidation and 20S proteasome-dependent proteolysis in mammalian cells. Cell Mol Life Sci. 2001; 58(10):1442–50. doi: 10.1007/PL00000787.
14. Venditti P, Rosa R.D., Meo S.D. Free Rad. Biol. Med. 2004. 36(3): 348–358.
15. Yanbin Z, Zheng W., Baoyu Q., Xicheng W. Inactivation of Lactate Dehydrogenase from Pig Heart by Phthalaldehyde Tsinghua Science and echnology. 2003. 8(4): 428–433

© Халилов Рустам Абдуразакович (dagbiofak@mail.ru); Джафарова Альбина Мехьядиновна (albina19764@mail.ru); Рабаданова Зухра Гусейновна (r.zukhra@yandex.ru); Джафаров Мурсал Биниевич (mursal-dag@mail.ru) Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ ОТКРЫТОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

## MODELING OF DISTRIBUTED OPEN INFRASTRUCTURE SYSTEMS BASED ON PETRI NETS

**A. Andreev  
I. Rudakov**

*Summary.* The efficiency and applicability of Petri nets are investigated in the context of modeling the operation of distributed open infrastructure systems with electric filling stations. In this study, a simulation of the work of the RSOI with the ESS was carried out using a Petri net built on the basis of an analysis of the features of this distributed system. It has been experimentally confirmed that Petri nets are applicable for modeling RSOI with ESS. This is due to the graph structure and extensive modeling capabilities of various dynamic discrete systems, which make it possible to simulate and identify the shortcomings of almost any complex system.

*Keywords:* distributed open infrastructure system, Electric filling stations, Petri nets, modeling, information security.

**Андреев Александр Алексеевич**

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
andreev.business.mail@gmail.com

**Рудаков Игорь Владимирович**

Кандидат технических наук, доцент,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
irudakov@yandex.ru

*Аннотация.* Исследуется эффективность и применимость сетей Петри в контексте моделирования работы распределенных систем открытой инфраструктуры (РСОИ) с электрозаправочными станциями (ЭЗС). В данном исследовании было проведено моделирование работы РСОИ с ЭЗС с применением сети Петри, построенной на основе анализа особенностей данной распределенной системы. Экспериментально было подтверждено, что сети Петри являются применимыми для моделирования РСОИ с ЭЗС. Это обусловлено графовой структурой и широкими возможностями моделирования различных динамических дискретных систем, которые позволяют смоделировать и выявить недостатки практически любой сложной системы.

*Ключевые слова:* распределенная система открытой инфраструктуры, электрозаправочные станции, сети Петри, моделирование, информационная безопасность.

### Введение

Распределенные системы открытой инфраструктуры (РСОИ) являются важным элементом развития современной мобильности и электромобильной индустрии. В управлении такими системами важно иметь надежные инструменты для моделирования и анализа их работы. Известно, что сети Петри обладают широкими возможностями для моделирования и анализа сложных систем. В данной статье исследуется эффективность и применимость сетей Петри при моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями.

### Анализ сетей Петри в моделировании систем

Известно, что сеть Петри — математический объект, используемый для моделирования динамических дискретных систем.

Позиции в сетях Петри представляют состояния системы, переходы обозначают события или действия, которые могут произойти. Дуги соединяют позиции и переходы и обозначают потоки токенов, которые перемещаются по модели. Токены представляют собой

элементарные единицы, которые могут перемещаться между позициями и переходами.

Основное преимущество сетей Петри — графическая нотация, которая позволяет наглядно представить модель и легко визуализировать процессы, происходящие в системе. Анализ состояний системы позволяет определить, какие состояния могут быть достигнуты, какие переходы могут произойти и какие пути существуют в модели.

Сети Петри широко применяются в моделировании и анализе различных систем, так как они позволяют описывать параллельные процессы, синхронизацию и конкуренцию между действиями.

### Анализ особенности РСОИ с электрозаправочными станциями

Особенности РСОИ (распределенная система открытой инфраструктуры) с электрозаправочными станциями, включающие в себя различные компоненты и процессы:

- **Распределенность.** Система состоит из нескольких физически разделенных компонентов: электрозаправочные станции, системы учета и управления, сети связи и другие, что требует эффективного взаимодействия и координации между компонентами.
- **Открытость для взаимодействия с другими системами.** РСОИ может взаимодействовать с другими системами: системы управления транспортными средствами, системы платежей и др., что требует установления и поддержания соответствующих протоколов и интерфейсов.
- **Требования к информационной безопасности.** В РСОИ хранятся и передаются различная информация: данные о клиентах, зарядке электромобилей и другие, что требует защиты от несанкционированного доступа и обеспечение конфиденциальности.
- **Управление и контроль работы РСОИ с электрозаправочными станциями.** Необходимо эффективное планирование и управление процессом зарядки электромобилей, контроль за доступом к станциям, учет и расчет платежей и другие аспекты работы системы.

Анализ особенностей РСОИ с электрозаправочными станциями позволяет определить требования к моделированию и анализу работы таких систем.

**Описание разработки модели РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри**

Модель РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри представлена на рисунке 2 в виде графической нотации, где белыми кружками обозначены позиции, полосками — переходы, чёрными кружками — метки.

Представим сеть Петри как кортеж четырех компонент

$$N = \langle T, P, F, x^k \rangle \tag{1}$$

где  $T \neq \emptyset, P \neq \emptyset, T \cap P \neq \emptyset,$

$T$  — конечное множество символов (переходами), т.е.  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\},$

$P$  — конечное множество символов (местами), т.е.  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_l\},$

$F$  — функция идентичности

$$F : (T \times P) \cup (P \times T) \leftrightarrow \{0,1\}, \tag{2}$$

Позиции:

P1 — «Готовность станции» — позиция, означающая, что станция готова принять электромобиль для зарядки

P2 — «Зарядка в процессе» — позиция, означающая, что на станции происходит зарядка электромобиля.

P3 — «Зарядка завершена» — позиция, означающая, что зарядка электромобиля завершена.

Переходы:

T1 — «Начало зарядки» — переход, который активируется, когда электромобиль подключается к станции.

T2 — «Окончание зарядки» — переход, который активируется, когда зарядка электромобиля завершается.

T3 — «Запрос платежа» — переход, который активируется после окончания зарядки для запроса платежа за услугу.

Дуги:

— Дуги между позициями и переходами, отражающие поток токенов и переходы между состояниями системы.

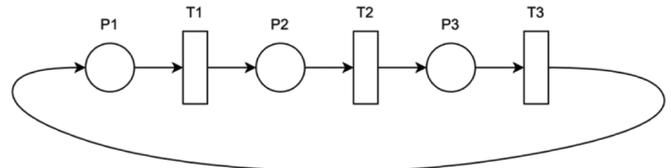


Рис. 1. Пример модели РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри

На основе составленной модели разработан программный комплекс, позволяющий использовать сети Петри для моделирования РСОИ с электрозаправочными станциями.

**Исследование разработанной модели**

Для проведения эксперимента использованы реальные данные о работе РСОИ с электрозаправочными станциями: время начала и окончания зарядки электромобилей, количество зарядных станций, информацию о платежах и другие параметры.

Результаты эксперимента получены путем запуска модели с использованием собранных данных. Произведено измерение среднего время зарядки электромобилей, загрузки станций, количество зарядок за определенный период времени и приведены наиболее важные результаты.

На рисунке 2 отображена средняя загрузка станций в течение недели, которая показывает, что в среднем зарядная инфраструктура имеет достаточный запас по утилизации.



Рис. 2. Средняя загрузка станций в течение недели



Рис. 3. Средняя загрузка станций в течение рабочего дня

Однако, на рисунке 3 отображена средняя загрузка станций в течение рабочего дня, которая показывает, что зарядной инфраструктуры не хватает, так как в 08:00 и 19:00 все станции заняты. Это объясняется «часом пик».

На рисунке 4 отображена средняя загрузка станций в течение недели, по которой видно, что она прямо не соотносится с данными на рисунке 3. Этот эффект объясняется тем, что в некоторые дни водители заряжают более короткими сессиями.



Рис. 4. Среднее количество зарядок в течение недели

На рис. 5 отображено среднее количество зарядных сессий в течение рабочего дня, которые показывают, что в «часы пик» пользователи не обладают временем зарядиться долго и совершают короткие сессии.

В ходе эксперимента разработанная модель РСОИ с электрозаправочными станциями на основе сетей Петри указала на необходимость уточнения модели и оптимизации процессов зарядки, а также неэффективное использование ресурсов зарядной инфраструктуры.

В целом, проведение экспериментального исследования модели РСОИ с электрозаправочными позволили выявить возможности для улучшения работы системы.

Однако, в процессе исследования также были выявлены некоторые ограничения применения сетей Петри в моделировании РСОИ с электрозаправочными станциями. Например, сложность моделирования может возникнуть при учете больших объемов данных или при использовании специфических алгоритмов работы станций. Также, требуется проведение дополнительных исследований для определения оптимальных параметров модели.

### Заключение

Сети Петри предоставляют возможность точно и реалистично отразить основные процессы в данной систе-

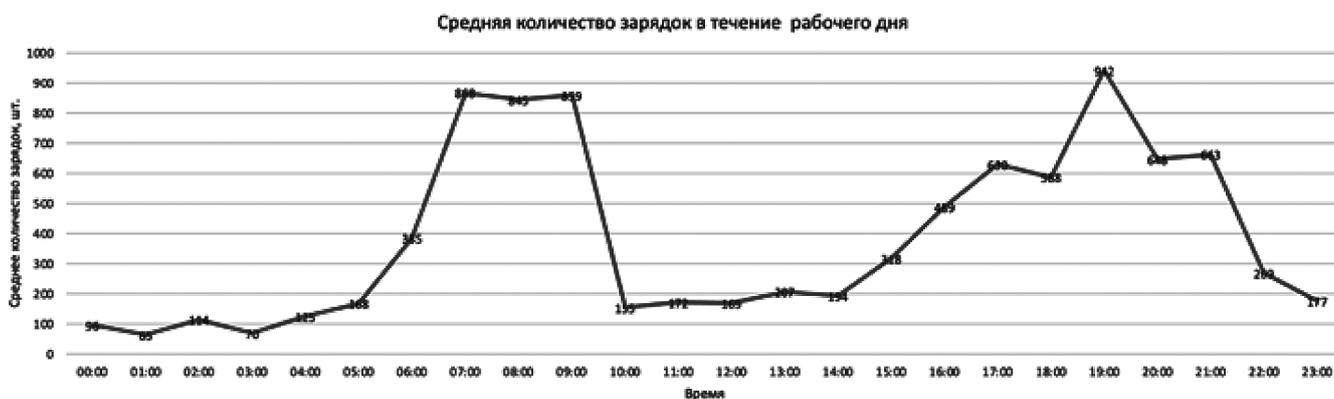


Рис. 5. Средняя количество зарядных сессий в течение рабочего дня

ме и прогнозировать ее работу в различных условиях. Это исследование имеет высокий потенциал и важность для науки, поскольку подтверждает значимость сетей Петри в моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями.

Однако, необходимо учитывать выявленные ограничения и применять сети Петри в моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями с осторожностью. Рекомендуется проводить тщательный анализ и верификацию моделей, учитывая специфические особенности системы и требования конкретного исследования.

В целом, данное исследование подчеркивает потенциал и значение сетей Петри в моделировании работы РСОИ с электрозаправочными станциями. Однако, для дальнейшего улучшения применимости и надежности этого метода в анализе и управлении подобными системами, рекомендуется проведение дополнительных исследований и экспериментов. Это позволит дальше развивать и оптимизировать использование сетей Петри в контексте РСОИ с электрозаправочными станциями, что является важным вкладом в научное сообщество и практическую область применения данной технологии.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Smith, John. «Application of Petri Nets for Modeling the Operation of Smart Grids.» *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* 45 (2013): 123–135.
2. Johnson, Sarah, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Stations using Petri Nets.» *IEEE Transactions on Smart Grid* 10.4 (2019): 4567–4575.
3. Lee, David, and Emily Chen. «Petri Net-Based Modeling and Analysis of Charging Station Management Systems.» *Proceedings of the International Conference on Computational Science and Its Applications*. Springer, Cham, 2018.
4. Zhang, Wei, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Infrastructure using Colored Petri Nets.» *Journal of Power Sources* 305 (2016): 12–20.
5. Wang, Xiaojun, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Stations with Petri Nets.» *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, 2017.
6. Chen, Li, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Station Operations using Petri Nets.» *Proceedings of the International Conference on Advanced Engineering and Technology*. Atlantis Press, 2019.
7. Li, Jun, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Infrastructure using Timed Petri Nets.» *Journal of Power Sources* 321 (2016): 1–9.
8. Park, Jongho, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Station Operations with Colored Petri Nets.» *Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Informatics*. IEEE, 2018.
9. Liu, Wei, et al. «Modeling and Simulation of Electric Vehicle Charging Stations based on Stochastic Petri Nets.» *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*. Springer, Singapore, 2019.
10. Chen, Yifan, et al. «Modeling and Analysis of Electric Vehicle Charging Infrastructure using Hybrid Petri Nets.» *Journal of Power Sources* 372 (2017): 263–271.

© Андреев Александр Алексеевич (andreev.business.mail@gmail.com); Рудаков Игорь Владимирович (irudakov@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИНФОРМАТИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

## INFORMATIZATION OF LOGISTICS PROCESSES OF INDUSTRIAL ENTERPRISES

**A. Bashkeev  
D. Karyugin  
P. Braginsky**

*Summary.* In the context of globalization and growing competition, industrial enterprises are faced with the need to improve the efficiency of logistics processes. The informatization of these processes is becoming a key factor in achieving competitive advantages. The relevance of the topic lies in the fact that warehouse accounting allows you to «transparently» determine the working form of a warehouse and minimize time costs for all types of warehouse activities, including the introduction of information technology in warehouse management, improving the speed and quality of management decisions in warehouse logistics and teamwork of the entire enterprise. This article discusses the concept and essence of informatization of logistics processes, the main technologies used for informatization of logistics, as well as the advantages of using innovative technologies in informatization of logistics. The following problems of informatization of logistics processes in industrial enterprises have also been identified: high initial costs, resistance to change, integration difficulties, cybersecurity issues, staff skill gaps, regulatory and legal barriers, difficulties in processing and managing big data, compatibility issues, scalability issues. Solving these problems requires a variety of appropriate measures, including careful planning, staff training, collaboration with technology partners, and continuous monitoring and adaptation of processes.

*Keywords:* informatization, logistics, logistics systems, innovations, information and communication technologies.

**Башкеев Александр Анатольевич**

*Аспирант, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского  
a.bashkeev@mgutm.ru*

**Карюгин Дмитрий Андреевич**

*Аспирант, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского  
a.karyugin@mgutm.ru*

**Брагинский Павел Борисович**

*Аспирант, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского  
p.braginsky@mgutm.ru*

*Аннотация.* В условиях глобализации и растущей конкуренции, промышленные предприятия сталкиваются с необходимостью повышения эффективности логистических процессов. Информатизация этих процессов становится ключевым фактором для достижения конкурентных преимуществ. Актуальность темы заключается в том, что складской учет позволяет «прозрачно» определить рабочую форму склада и минимизировать временные затраты на все виды складской деятельности, включая внедрение информационных технологий в управление складом, повышение скорости и качества управленческих решений в складской логистике и коллективной работы всего предприятия. В данной статье рассматриваются понятие и сущность информатизации логистических процессов, основные технологии, используемые для информатизации логистики, а также преимущества использования инновационных технологий в информатизации логистики. Также выявлены следующие проблемы информатизации логистических процессов на промышленных предприятиях: высокие начальные затраты, сопротивление изменениям, сложности интеграции, проблемы с кибербезопасностью, пробелы в квалификации персонала, регуляторные и правовые барьеры, трудности в обработке и управлении большими данными, проблемы с совместимостью, проблемы с масштабируемостью. Решение этих проблем требует множества соответствующих мер, включающих тщательное планирование, обучение персонала, сотрудничество с технологическими партнерами и постоянное мониторинг и адаптацию процессов.

*Ключевые слова:* информатизация, логистика, логистические системы, инновации, информационно-коммуникационные технологии.

**И**нформатизация является многогранным понятием, поэтому существует несколько подходов к его трактовке. В зависимости от контекста и области применения можно выделить следующие основные подходы [1, 3].

При техническом подходе информатизация рассматривается как процесс внедрения и использования информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) для автоматизации и оптимизации различных видов деятельности. Например, внедрение компьютерных систем, программного обеспечения, сетевых технологий,

баз данных и других технических средств для обработки, хранения и передачи информации.

При организационном подходе информатизация рассматривается как процесс трансформации организационных структур и бизнес-процессов путем внедрения ИКТ. Это включает изменение методов управления, улучшение коммуникаций и повышение общей эффективности организации. Например, реинжиниринг бизнес-процессов, автоматизация документооборота, корпоративные информационные системы.

С точки зрения культурного подхода информатизация рассматривается как изменение культурных и образовательных аспектов общества под влиянием ИКТ. Она включает формирование новой информационной культуры, изменение способов восприятия и передачи знаний. Например, развитие медиаграмотности, цифровое искусство, доступ к информации и знаниям через интернет.

Каждый из этих подходов подчеркивает различные аспекты информатизации и позволяет лучше понять ее многогранное влияние на современное общество.

Информатизация логистики включает в себя применение современных информационных технологий для оптимизации управления потоками материалов, информации и ресурсов [8]. Это позволяет предприятиям уменьшить затраты на логистику, сократить время доставки, повысить точность и надежность данных, улучшить качество обслуживания клиентов.

Основные технологии, используемые для информатизации логистики, представлены в таблице.

Таблица.

Основные технологии, используемые для информатизации логистики

Наименование	Характеристика
ERP-системы (Enterprise Resource Planning).	ERP-системы интегрируют все аспекты деятельности предприятия, включая логистику, производство, финансы и управление персоналом.
WMS (Warehouse Management System).	Системы управления складом автоматизируют процессы хранения, перемещения и учета товаров на складах. Они обеспечивают оптимизацию складских операций, улучшение контроля запасов и снижение затрат.
TMS (Transportation Management System)	Системы управления транспортировкой помогают оптимизировать маршруты, управлять перевозками и контролировать затраты на транспорт.
RFID и IoT-технологии радиочастотной идентификации (RFID) и Интернета вещей (IoT)	Технологии радиочастотной идентификации (RFID) и Интернета вещей (IoT) позволяют отслеживать движение товаров в реальном времени, обеспечивая прозрачность и точность данных

Источник: составлено автором по данным [1, 5, 12]

Преимущества информатизации логистических процессов заключается в разных аспектах, представленных на рисунке 1.

Следовательно, преимущества информатизации логистических процессов являются различными: повышение эффективности, улучшение качества данных,

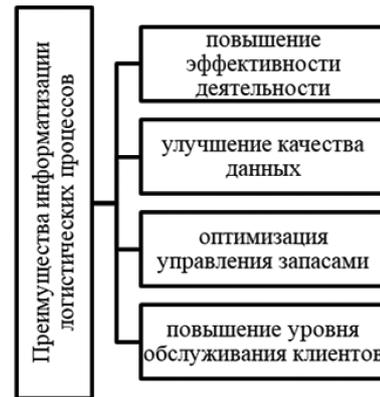


Рис. 1. Преимущества информатизации логистических процессов

Источник: составлено автором по данным [3, 5, 11]

оптимизация управления запасами, повышение уровня обслуживания клиентов. Рассмотрим указанные аспекты более подробно.

*Повышение эффективности деятельности.* Информатизация позволяет автоматизировать рутинные задачи, снижая трудозатраты и повышая производительность [5]. По данным исследования McKinsey, автоматизация логистических процессов может сократить затраты на логистику до 30 % [11].

*Улучшение качества данных.* Использование информационных систем уменьшает вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором, и обеспечивает доступ к актуальной и точной информации [3].

*Оптимизация управления запасами.* Системы управления запасами позволяют точно прогнозировать потребности и минимизировать избыточные запасы, что снижает затраты на хранение и улучшает оборачиваемость товаров.

*Повышение уровня обслуживания клиентов.* Информатизация позволяет оптимизировать сроки и повысить точность доставки, что способствует росту удовлетворенности клиентов и укрепляет их лояльность [2].

Следовательно, информатизация логистических процессов является важным инструментом для повышения конкурентоспособности промышленных предприятий. Современные информационные технологии позволяют автоматизировать и оптимизировать управление логистикой, улучшая эффективность, точность и качество обслуживания клиентов. Интеграция инновационных технологий в логистику приносит множество преимуществ, таких как повышение эффективности, снижение затрат и улучшение качества обслуживания клиентов [10, 12].

Однако, наряду с этими выгодами, предприятия сталкиваются с рядом вызовов и проблем при внедрении но-

вых технологий. Прежде всего, это высокие начальные затраты. Внедрение новых технологий часто требует значительных инвестиций в оборудование, программное обеспечение, обучение персонала и инфраструктуру. Малый и средний бизнес может испытывать трудности с финансированием таких проектов [5, 7].

Также следует указать наличие сопротивления изменениям на предприятиях. Сотрудники могут проявлять сопротивление изменениям из-за страха перед неизвестным, потерей работы или необходимости осваивать новые навыки. Это может замедлить процесс внедрения и снизить эффективность использования новых технологий [8].

Необходимо отметить также сложности интеграции, так как новые технологии должны быть интегрированы с уже существующими системами и процессами, что может быть технически сложной задачей. Несовпадения между старыми и новыми системами могут привести к сбоям и потерям данных. Наряду с интеграцией возникает проблема кибербезопасности. Новые технологии, особенно те, которые связаны с интернетом и облачными сервисами, могут быть уязвимыми для кибератак. Угрозы безопасности данных могут привести к финансовым потерям и ущербу репутации предприятия. Разные технологии и системы могут быть несовместимы друг с другом, что затрудняет их интеграцию в единый логистический процесс. Это может привести к необходимости дополнительных инвестиций в разработку кастомизированных решений или адаптацию существующих систем. Некоторые инновационные технологии могут быть трудно масштабируемыми, особенно если они требуют специфического оборудования или инфраструктуры. Это может ограничить возможности компании по расширению использования технологий на новые рынки или регионы [6, 9].

Следует также отметить, что внедрение новых технологий требует наличия квалифицированных специалистов, которые могут работать с этими технологиями. Это не всегда легко осуществимо. Недостаток таких специ-

алистов может замедлить процесс внедрения и снизить эффективность использования новых технологий [10].

Регуляторные и правовые барьеры также препятствуют эффективному внедрению технологий в логистике. Новые технологии могут не соответствовать текущим регуляторным и правовым требованиям или требовать дополнительных сертификаций и разрешений. Это может вызвать задержки и дополнительные расходы на приведение технологий в соответствие с нормативами.

Современные технологии генерируют огромное количество данных, которые необходимо собирать, хранить и анализировать. Предприятия могут столкнуться с трудностями в обработке и управлении большими объемами данных, а также в извлечении полезной информации из них.

Таким образом, информатизация логистики включает в себя применение современных информационных технологий для оптимизации управления потоками материалов, информации и ресурсов. Это позволяет предприятиям уменьшить затраты на логистику, сократить время доставки, повысить точность и надежность данных, улучшить качество обслуживания клиентов. Преимущества информатизации логистических процессов являются различными: повышение эффективности, улучшение качества данных, оптимизация управления запасами, повышение уровня обслуживания клиентов. Проведенный анализ позволил выявить следующие проблемы информатизации логистических процессов на промышленных предприятиях: высокие начальные затраты, сопротивление изменениям, сложности интеграции, проблемы с кибербезопасностью, пробелы в квалификации персонала, регуляторные и правовые барьеры, трудности в обработке и управлении большими данными, проблемы с совместимостью, проблемы с масштабируемостью. Решение этих проблем требует множества соответствующих мер, включающих тщательное планирование, обучение персонала, сотрудничество с технологическими партнерами и постоянное мониторинг и адаптацию процессов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адер, А.В., Дудко А.В., Емец М.С. Особенности внедрения информационных технологий в складском хозяйстве / [и др.] // ЦИТИСЭ. — 2023. — № 1(35). — С. 387–404. — DOI 10.15350/2409-7616.2023.1.33.
2. Аркабаев, Н.К. Оптимизация логистических процессов и транспортных задач в условиях динамичной онлайн-торговли / Н.К. Аркабаев, Г. Доолотбек Кызы, С.М. Аманбаев // Бюллетень науки и практики. — 2024. — Т. 10, № 1. — С. 292–298. — DOI 10.33619/2414-2948/98/35.
3. Банзекуливахо, М.Ж., Хаменок А.А. Информационное обеспечение повышения эффективности управления складским хозяйством в цепях поставок продукции промышленного предприятия // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D. Экономические и юридические науки. — 2020. — № 13. — С. 10–19.
4. Еремина, Л.В. Повышение эффективности логистического планирования за счет использования искусственного интеллекта / Л.В. Еремина, А.Ю. Мамойко, А.С. Папикян // Техника. Технологии. Инженерия. — 2019. — № 4 (14). — С. 1–7.
5. Каминская, Н. В. Инновации в складской логистике / Н. В. Каминская // Новые информационные технологии в телекоммуникациях и почтовой связи. — 2023. — Т. 1, № 1. — С. 130–131.

6. Котт, А.Г. Трансформация бизнес-систем и технологий международной логистики под влиянием трендов цифровизации / А.Г. Котт, Д.А. Легкодымов, Е.А. Фурсова // *Техник транспорта: образование и практика*. — 2024. — Т. 5, № 1. — С. 83–88. — DOI 10.46684/2687-1033.2024.1.83-88.
7. Любименко, А.И. Управленческие аспекты цифровизации транспортно-логистической экосистемы / А.И. Любименко, Е.А. Фурсова // *Техник транспорта: образование и практика*. — 2024. — Т. 5, № 1. — С. 77–82. — DOI 10.46684/2687-1033.2024.1.77-82.
8. Репкина, О.Б. Проблемы информационной поддержки логистического процесса / О.Б. Репкина // *Ученые записки Российской Академии предпринимательства*. — 2023. — Т. 22, № 4. — С. 139–143. — DOI 10.24182/2073-6258-2023-22-4-139-143.
9. Харченко, С.Б. Цифровые инновации в сфере логистики и транспорта / С.Б. Харченко, Р.Н. Ахметзянов, В.А. Батурин // *Экономика и управление: проблемы, решения*. — 2024. — Т. 6, № 2(143). — С. 130–135. — DOI 10.36871/ek.up.p.r.2024.02.06.017.
10. Юсуфова, О.М., Шиболденков В.А., Андреева А.А. Анализ технологий цифровой логистики для автоматизации и сервисной интеграции складских процессов организации // *Вопросы инновационной экономики*. — 2020. — Т. 10, № 3. — С. 1759–1772.
11. Alicke, K., Rexhausen D., Seyfert A. Supply Chain 4.0 in consumer goods // McKinsey & Company. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/consumer-packaged-goods/our-insights/supply-chain-4-0-in-consumer-goods>
12. Popescu, GH, Petreanu S, Alexandru B, Corpodean H. Internet of Things-based Real-Time Production Logistics, Cyber-Physical Process Monitoring Systems, and Industrial Artificial Intelligence in Sustainable Smart Manufacturing // *Self-Gov. Manag. Econ.* — 2021. — №9. — pp. 52–62.

---

© Башкеев Александр Анатольевич (a.bashkeev@mgutm.ru); Карюгин Дмитрий Андреевич (a.karyugin@mgutm.ru);  
Брагинский Павел Борисович (p.braginsky@mgutm.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2024.06.06

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ ИГР

## MATHEMATICAL MODELING OF INFORMATION SECURITY TASKS USING GAME THEORY

*B. Bondarenko*

*Summary.* The article discusses the application of game theory methods for modeling and analysis of information security tasks. The rationale for using game-theoretic models to account for rational behavior of opponents, optimal allocation of defense resources, and selection of the most effective countermeasure strategies is provided. Examples of constructing game models for various attack and defense scenarios are given, and approaches to improving the effectiveness of security systems based on the obtained results are proposed. The necessity of a comprehensive approach combining the application of game theory with other information security methods and tools is emphasized.

*Keywords:* information security, game theory, threat modeling, optimal defense strategies, resource allocation, rational behavior of opponents.

**Бондаренко Богдан Павлович**  
Волгоградский Государственный  
Технический Университет  
*bogdanbondarenko19@yandex.ru*

*Аннотация.* В статье рассматривается применение методов теории игр для моделирования и анализа задач информационной безопасности. Обосновывается целесообразность использования теоретико-игровых моделей для учета рационального поведения противников, оптимального распределения ресурсов защиты и выбора наиболее эффективных стратегий противодействия угрозам. Приводятся примеры построения игровых моделей для различных сценариев атак и защиты, а также предлагаются подходы к повышению эффективности систем безопасности на основе полученных результатов. Подчеркивается необходимость комплексного подхода, сочетающего применение теории игр с другими методами и средствами информационной защиты.

*Ключевые слова:* информационная безопасность, теория игр, моделирование угроз, оптимальные стратегии защиты, распределение ресурсов, рациональное поведение противников.

В эпоху цифровой трансформации и глобализации информационных систем обеспечение информационной безопасности приобретает критическую важность. Злоумышленники, стремящиеся получить несанкционированный доступ к конфиденциальным данным или нарушить целостность и доступность информационных ресурсов, представляют серьезную угрозу для организаций во всех сферах деятельности. Защита от таких угроз требует комплексного подхода, учитывающего не только технические аспекты, но и поведение рациональных противников, стремящихся максимизировать свою выгоду. В этом контексте теория игр предлагает мощный математический аппарат для моделирования и анализа конфликтных ситуаций в области информационной безопасности. Применение теоретико-игровых моделей позволяет формализовать взаимодействие сторон, определить их оптимальные стратегии и найти равновесные решения, обеспечивающие наиболее эффективное распределение ограниченных ресурсов защиты.

Задачи обеспечения информационной безопасности по своей природе представляют собой антагонистические конфликтные ситуации, в которых интересы сторон противоположны. С одной стороны, есть субъекты, стремящиеся получить несанкционированный доступ к информационным ресурсам или нарушить их целостность и доступность. С другой стороны, существуют субъекты, ответственные за защиту информации и предотвраще-

ние таких угроз [1, 2]. Данная ситуация характеризуется наличием рационально действующих противников с противоположными целями, что делает ее идеальным объектом для применения методов теории игр.

Теория игр представляет собой математический инструментарий для анализа конфликтных ситуаций, в которых участники преследуют противоположные интересы [3]. Она позволяет формализовать взаимодействие сторон, определить их оптимальные стратегии и найти равновесные решения. В контексте информационной безопасности, теория игр может быть использована для моделирования и анализа угроз, а также выбора наиболее эффективных средств и методов защиты [4, 5]. Одним из ключевых преимуществ применения теории игр в задачах информационной защиты является возможность учета рационального поведения противника [6]. Злоумышленники, как правило, действуют целенаправленно и стремятся максимизировать свою выгоду, выбирая наиболее эффективные методы атаки. Теория игр позволяет предсказать их потенциальные действия и разработать соответствующие контрмеры [7]. Кроме того, теория игр предоставляет инструменты для оптимального распределения ограниченных ресурсов, выделяемых на обеспечение информационной безопасности [8]. Это особенно актуально, поскольку средства защиты могут быть дорогостоящими, а их внедрение сопряжено с определенными издержками и рисками [9, 10]. При-

менение методов теории игр в задачах информационной защиты позволяет учитывать множество факторов, таких как вероятности различных угроз, эффективность средств защиты, затраты на их внедрение и потенциальный ущерб от реализации угроз [11, 12]. На основе этих данных строятся математические модели, которые используются для выбора оптимальных стратегий защиты и распределения ресурсов [13].

Следует отметить, что существует множество различных подходов к применению теории игр в задачах информационной безопасности, включая игры с полной и неполной информацией, статические и динамические игры, игры с нулевой суммой и игры с ненулевой суммой [14, 15]. Выбор конкретного подхода зависит от специфики рассматриваемой задачи и имеющихся данных. Таким образом, задачи информационной защиты по своей природе представляют собой антагонистические конфликтные ситуации, в которых методы теории игр являются эффективным инструментом для анализа, моделирования и принятия решений. Применение теории игр позволяет учитывать рациональное поведение противника, оптимально распределять ресурсы и выбирать наиболее эффективные стратегии защиты [16, 17].

Для применения теории игр к задачам информационной защиты необходимо адаптировать ее основные элементы к специфике рассматриваемой области. Прежде всего, следует определить участников игры, или игроков. В контексте информационной безопасности игроками являются субъекты, стремящиеся получить несанкционированный доступ к информационным ресурсам (злоумышленники, хакеры), и субъекты, ответственные за защиту этих ресурсов (администраторы безопасности, специалисты по информационной защите). Далее необходимо сформулировать множества стратегий игроков. Стратегией злоумышленника может быть выбор определенного метода атаки (например, эксплуатация уязвимостей, социальная инженерия, распределенная атака типа «отказ в обслуживании» и т.д.) [8, 13]. Стратегией защитника, в свою очередь, является выбор конкретных средств и механизмов защиты (антивирусные программы, межсетевые экраны, системы обнаружения вторжений, политики безопасности и т.п.) [9, 10]. Следующим шагом является определение функций выигрыша или проигрыша для каждого игрока. Эти функции должны отражать ценность различных исходов игры для участников. Для злоумышленника функция выигрыша может быть связана с ценностью получаемой информации, потенциальным ущербом от реализации атаки или вероятностью успешного проникновения [12]. Для защитника функция проигрыша, как правило, определяется вероятностью реализации угроз, потенциальным ущербом от них и затратами на внедрение средств защиты [7, 11]. После формализации основных элементов игры можно переходить к построению теоретико-игровых моделей.

Выбор конкретного типа модели (игра с полной или неполной информацией, статическая или динамическая игра, игра с нулевой или ненулевой суммой) зависит от специфики рассматриваемой задачи и имеющихся данных [14, 15].

Важной особенностью задач информационной защиты является наличие множества различных угроз и средств защиты, что приводит к необходимости построения многокомпонентных или многоэтапных игровых моделей. В таких моделях отдельные игры могут соответствовать различным типам угроз или этапам процесса защиты (предотвращение, обнаружение, реагирование) [16, 17]. Кроме того, в задачах информационной безопасности часто присутствует элемент неопределенности и недостатка информации. Злоумышленники могут скрывать свои истинные намерения и возможности, а защитники не всегда могут точно оценить эффективность применяемых средств защиты. В таких случаях могут использоваться игры с неполной информацией, байесовские игры или стохастические игровые модели [18, 19]. Следует также отметить, что в реальных ситуациях информационной защиты зачастую присутствуют множественные игроки с различными интересами и ролями. Например, помимо злоумышленников и защитников, могут быть вовлечены сторонние наблюдатели, разработчики средств защиты, регулирующие органы и т.д. Для моделирования таких ситуаций могут применяться игры с несколькими участниками или иерархические игровые модели [20, 21].

Таким образом, адаптация теоретико-игровых моделей к задачам информационной защиты требует тщательного анализа специфики рассматриваемой ситуации, определения участников игры, их стратегий и функций выигрыша/проигрыша. Необходимо учитывать многокомпонентный характер задач информационной безопасности, элементы неопределенности и наличие множественных игроков с различными интересами. Построение адекватных игровых моделей позволяет глубже понять природу конфликта в области информационной защиты и найти оптимальные стратегии противодействия угрозам.

Рассмотрим конкретные примеры применения теоретико-игровых моделей для анализа угроз информационной безопасности и выбора оптимальных стратегий защиты. Также проанализируем различные подходы к повышению эффективности систем защиты на основе полученных результатов.

*Пример 1.* Игра с нулевой суммой для моделирования атаки на веб-сервер.

Рассмотрим ситуацию, в которой злоумышленник пытается получить несанкционированный доступ к веб-

серверу организации с целью кражи конфиденциальных данных. Предположим, что злоумышленник может использовать одну из следующих стратегий атаки:

- Атака с применением эксплойтов (A1)
- Атака с использованием вредоносного ПО (A2)
- Атака типа «отказ в обслуживании» (A3)

Защитник, в свою очередь, может выбрать одну из следующих стратегий защиты:

- Установка межсетевых экранов (D1)
- Внедрение системы обнаружения вторжений (D2)
- Использование антивирусного ПО (D3)

Матрица выигрышей для этой игры с нулевой суммой может выглядеть следующим образом (Рисунок 1):

	D1	D2	D3
A1	0.3, -0.3	0.7, -0.7	0.6, -0.6
A2	0.5, -0.5	0.3, -0.3	0.1, -0.1
A3	0.2, -0.2	0.4, -0.4	0.8, -0.8

Рис. 1. Матрица выигрышей

В этой матрице элементы представляют собой пары  $(x, y)$ , где  $x$  — выигрыш злоумышленника, а  $y$  — выигрыш защитника. Так как это игра с нулевой суммой, выигрыш одного игрока равен проигрышу другого ( $x + y = 0$ ).

Используя различные методы решения игр (например, метод Брауна-Робинсона), можно найти оптимальные смешанные стратегии для обоих игроков. Пусть оптимальные стратегии будут следующими:

- Злоумышленник: (0.4, 0.3, 0.3)
- Защитник: (0.2, 0.6, 0.2)

Это означает, что злоумышленнику следует со следующими вероятностями применять различные стратегии атаки: A1 — 0.4, A2 — 0.3, A3 — 0.3. Защитнику, в свою очередь, рекомендуется со следующими вероятностями использовать средства защиты: D1 — 0.2, D2 — 0.6, D3 — 0.2.

При использовании оптимальных смешанных стратегий ожидаемый выигрыш злоумышленника составит 0.42, а ожидаемый проигрыш защитника — (-0.42). Это означает, что при данном распределении ресурсов вероятность успешной атаки составляет 0.42.

Чтобы повысить эффективность системы защиты, защитник может предпринять следующие шаги:

1. Увеличить бюджет на средства защиты и внедрить дополнительные механизмы безопасности.
2. Провести более глубокий анализ угроз и уязвимостей для выявления слабых мест в существующей системе защиты.
3. Разработать комплексную стратегию безопасности, включающую в себя не только технические средства защиты, но и организационные меры и обучение персонала.
4. Рассмотреть возможность использования ложных информационных ресурсов для отвлечения злоумышленников и сбора данных об их тактике.

Пример 2. Байесовская игра для моделирования атаки на базу данных.

В этом примере рассматривается ситуация, когда злоумышленник пытается получить доступ к базе данных организации, содержащей конфиденциальную информацию. Однако защитник не располагает полной информацией о типе и целях атаки, поэтому для моделирования этой ситуации используется байесовская игра.

Предположим, что злоумышленник может выбрать одну из двух стратегий:

- Атака с использованием эксплойтов (A1)
- Атака с применением методов социальной инженерии (A2)

Защитник, в свою очередь, может выбрать одну из следующих стратегий защиты:

- Установка системы обнаружения вторжений (D1)
- Усиление политик безопасности и обучение персонала (D2)

Матрица выигрышей для данной игры имеет следующий вид:

	D1	D2
A1	-2, 2	5, -5
A2	4, -4	-1, 1

Рис. 2. Матрица выигрышей

Защитник считает, что с вероятностью 0.6 злоумышленник выберет стратегию A1, и с вероятностью 0.4 — стратегию A2. Эти вероятности представляют априорные убеждения защитника относительно намерений злоумышленника.

Используя методы решения байесовских игр, можно найти оптимальные стратегии для обоих игроков. Пусть оптимальные стратегии будут следующими:

- Злоумышленник: (0.8, 0.2)
- Защитник: (0.4, 0.6)

Это означает, что злоумышленнику рекомендуется с вероятностью 0.8 использовать стратегию A1 (атака с эксплойтами) и с вероятностью 0.2 — стратегию A2 (социальная инженерия). Защитнику следует с вероятностью 0.4 применять стратегию D1 (система обнаружения вторжений) и с вероятностью 0.6 — стратегию D2 (усиление политик безопасности и обучение персонала).

При использовании оптимальных стратегий ожидаемый выигрыш злоумышленника составит 1.6, а ожидаемый проигрыш защитника — (-1.6). Это означает, что при данном распределении ресурсов вероятность успешной атаки составляет 0.4.

Для повышения эффективности системы защиты в этом случае защитник может предпринять следующие шаги:

1. Провести более глубокий анализ угроз и пересмотреть априорные вероятности выбора стратегий злоумышленником. Возможно, имеющаяся информация является недостаточно точной или устаревшей.
2. Инвестировать в развитие программ обучения и повышения осведомленности персонала в вопросах информационной безопасности. Это позволит снизить риски, связанные с атаками на основе социальной инженерии.
3. Рассмотреть возможность внедрения дополнительных средств защиты, таких как системы предотвращения вторжений (IPS), средства контроля доступа, шифрования данных и т.д.
4. Усилить меры по мониторингу и аудиту системы безопасности, чтобы своевременно выявлять попытки несанкционированного доступа и принимать соответствующие контрмеры.
5. Разработать комплексную стратегию реагирования на инциденты информационной безопасности, включающую в себя процедуры выявления, анализа, сдерживания и ликвидации последствий атак.
6. Рассмотреть возможность использования методов активной защиты, таких как ложные информационные ресурсы (honeypot) и обманные системы (deception systems), для сбора данных о тактике злоумышленников и отвлечения их от реальных ценных активов.
7. Регулярно проводить тестирование на проникновение (пентесты) для выявления потенциальных уязвимостей и оценки эффективности существующих средств защиты.

8. Наладить сотрудничество и обмен информацией об угрозах с другими организациями и специализированными центрами по кибербезопасности для получения актуальных данных о новых видах атак и методах защиты.

Понимание глубинной взаимосвязи между обеспечением эффективной защиты информационных систем и многогранным, целостным подходом, простирающимся далеко за пределы технических средств защиты, является фундаментальным для успешной реализации стратегии информационной безопасности. Создание комплексной стратегии требует всеобъемлющего осмысления, синтезирующего организационные меры, непрерывный процесс обучения персонала, тщательный и непрерывный мониторинг и постоянное совершенствование процессов обеспечения безопасности, органично переплетенных с технической составляющей.

Теоретико-игровые модели, основанные на строгом математическом аппарате и глубоком теоретическом фундаменте, предоставляют ценную аналитическую информацию, проливающую свет на анализ угроз, оценку рисков и оптимальное распределение ограниченных ресурсов защиты, являющихся неотъемлемой частью любой стратегии информационной безопасности [14]. Тем не менее, результаты, полученные путем применения этих моделей, требуют тщательного аналитического осмысления, интегрирующего их в общую стратегию информационной безопасности организации, основанную на глубоком понимании ее специфики, целей и задач, обеспечивая синергию теоретических и прикладных аспектов защиты информации. Применение теории игр к задачам обеспечения информационной безопасности открывает новые горизонты в плане повышения эффективности систем защиты, однако требует глубокого осмысления и интеграции с другими подходами для достижения синергетического эффекта [16]. Эти модели, опирающиеся на строгий математический аппарат и анализ рациональности поведения участников конфликта, предоставляют ценный инструмент для прогнозирования действий потенциальных противников и разработки соответствующих контрмер, ориентированных на нейтрализацию угроз.

Кроме того, теоретико-игровые модели, учитывающие ограниченность ресурсов, выделяемых на обеспечение информационной безопасности, позволяют оптимизировать их распределение, максимизируя эффективность защитных мер при заданных бюджетных ограничениях, что имеет критическое значение ввиду значительных затрат, неизбежно связанных с реализацией комплексной стратегии защиты информации. Тем не менее, следует осознавать, что, несмотря на свою значимость, теоретико-игровые модели не являются универсальным решением и должны органично инте-

грироваться с другими инструментами и подходами, охватывающими как техническую составляющую, так и организационные меры, непрерывное обучение персонала, всеобъемлющий мониторинг и постоянную эво-

люцию процессов обеспечения безопасности, создавая целостную и адаптивную систему защиты информации, способную противостоять постоянно меняющимся угрозам в современной динамичной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аносов Р.С., Аносов С.С., Шахалов И.Ю. Формализованная риск-ориентированная модель системы информационных технологий // Вопросы кибербезопасности. 2020. №5 (39). С. 69–76.
2. Арьков П.А. Комплекс моделей для поиска оптимального проекта системы защиты информации // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. №8. С. 30–36.
3. Басалова Г.В. Применение методов теории игр в системах обнаружения вторжений // Известия ТулГУ. Технические науки. 2017. №10. С. 207–216.
4. Басалова Г.В., Сычугов А.А. Применение методов теории игр для оптимизации выбора средств защиты информации // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. №11-1. С. 122–129.
5. Белый А.Ф. Компьютерные игры для выбора методов и средств защиты информации в автоматизированных системах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. №8. С. 172–176.
6. Беседина С.В., Кандудин Д.А., Муравьев В.И. Применение методов математического моделирования при обеспечении безопасности // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2019. №10. С. 37–40.
7. Быков А.Ю., Шматова Е.С. Алгоритмы распределения ресурсов для защиты информации между объектами информационной системы на основе игровой модели и принципа равной защищенности объектов // Машиностроение и компьютерные технологии. 2015. №9. С. 160–187.
8. Вахний Т.В., Гуц А.К., Бондарь С.С. Учёт вероятностей хакерских атак в игровом подходе к подбору программных средств защиты компьютерной информации // МСМ. 2015. №3 (35). С. 91–105.
9. Вахний Т.В., Гуц А.К., Константинов В.В. Программное приложение для выбора оптимального набора средств защиты компьютерной информации на основе теории игр // Вестник ОмГУ. 2013. №4 (70). С. 201–206.
10. Вахний Т.В., Гуц А.К., Кузьмин С.Ю. Оптимальный подбор антивирусной программы и межсетевого экрана с помощью теории игр // МСМ. 2014. №4 (32). С. 240–246.
11. Волошин И.П. Построение математической модели конфликта угроз и комплексной системы защиты информации в информационно-коммуникационных сетях // Информационная безопасность регионов. 2017. №2 (27). С. 5–8.
12. Гайнанова И.В. Применение теории игр в анализе скрытых каналов с активным противником // История и архивы. 2010. №12 (55). С. 109–116.
13. Гуц А.К., Вахний Т.В., Пахотин И.Ю. Определение оптимального набора средств защиты компьютерной системы методом Монте-Карло // МСМ. 2018. №1 (45). С. 148–158.
14. Данеев А.В., Воробьев А.А., Лебедев Д.М. Применение теоретико-игровых моделей для исследования качества функционирования сложных организационно-технических систем // Вестник ВИ МВД России. 2010. №4. С. 76–82.
15. Данилова О.Т., Савченко С.О., Капчук Н.В. Алгоритм построения модели нарушителя на примере системы физической защиты с применением теории игр и теории графов // ОНВ. 2017. №4 (154). С. 115–119.
16. Конюховский П., Шабалин А. Теоретико-игровые подходы в анализе стратегий защиты корпоративных информационных систем // International Journal of Open Information Technologies. 2023. №12. С. 4–15.
17. Медведев Н.В., Гришин Г.А. Оптимизация тактики защиты компьютерных сетей с использованием математического аппарата теории стратегических игр // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2010. №4. С. 117–124.
18. Раджабова М.Т. Постановка стохастической игры защиты информации. Метод антагонистической игры двух лиц // Научные междисциплинарные исследования. 2020. №5. С. 7–11.
19. Русяев И.Л. Определение стратегии администратора по противодействию сетевым аномалиям на основе теории игр // Проблемы науки. 2017. №6 (19). С. 27–32.
20. Савченко С.О., Капчук Н.В. Алгоритм построения модели нарушителя в системе информационной безопасности с применением теории игр // ОмГТУ. 2017. №4. С. 84–89.
21. Чуляев И.И. Игровая модель обоснования применения средств комплексной защиты информационных ресурсов иерархической информационно-управляющей системы // T-Comm. 2015. №2. С. 64–68.

© Бондаренко Богдан Павлович (bogdanbondarenko19@yandex.ru)  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ВСТРАИВАНИЕ TIP В ЭКОСИСТЕМУ SOC

## INTEGRATING TIP INTO THE SOC ECOSYSTEM

O. Borovskaya  
I. Savelyev

*Summary.* The purpose of the work is to identify the benefits of using TI data and to create an approach to embedding TIP into the SOC ecosystem. The following research methods were used: consistent analysis of the mechanisms for using TI data, implying interaction with them at the time of receiving indicators of compromise in the system. The article categorizes and classifies TI data. The authors of the article analyzed the work experience of information security engineers specializing in the design and implementation of monitoring tools and response to information security incidents, which made it possible to apply practical skills in their work.

*Research results:* Categorization and classification of TI data was carried out. The practical significance of the study is confirmed by identifying the benefits of using TI data by integrating TIP with various solutions. The analysis showed that a successful strategy for choosing TI data is to diversify TI data from different manufacturers, since it is difficult to find one manufacturer that would completely cover the user's needs. Approaches to integrating TIP into the SOC ecosystem are described, as well as the main types of solutions in the context of reactive scenarios for using TI data.

*Keywords:* Threat Intelligence, Threat Intelligence Platform, TI data, indicators of compromise, SOC, analytics, alerting, enrichment, vulnerabilities, threats.

## Введение

Threat Intelligence (далее — TI) данные — это информация об актуальных ИБ-угрозах, содержащая тактики, техники и инструменты злоумышленников и позволяющая выстроить эффективную систему защиты [1].

Наиболее известными случаями хакерских атак в России за последние годы являются:

- атака на систему ЦБ России в 2021 г. (группировка MoneyTaker);
- мошенничество с 3-D Secure в 2021 г. (фишинг);
- атака на «Яндекс» в 2021 г. (DDoS-атака);
- атака на портал «Госуслуги» в 2022 г. (DDoS-атака);
- программы вымогатели Phobos, CryLock, Sojusz в 2022 г. (группировка OldGremlin);
- атака на «РЖД» в 2023 г. (DDoS-атака).

Боровская Ольга Евгеньевна

Финансовый университет при Правительстве  
Российской Федерации, г. Москва  
borovskaya\_olechka@mail.ru

Савельев Иван Андреевич

кандидат технических наук, доцент,  
Финансовый университет при Правительстве  
Российской Федерации, г. Москва  
iasavelyev@fa.ru

*Аннотация.* Цель работы состоит в определении преимуществ использования TI данных и создании подхода к встраиванию TIP в экосистему SOC.

Использовались следующие методы исследования: последовательный анализ механизмов использования TI данных, подразумевающих взаимодействия с ними в момент получения индикаторов компрометации в системе. В статье осуществляется категоризация и классификация TI данных. Авторами в статье проанализирован опыт работы инженеров по информационной безопасности (далее — ИБ), специализирующихся в области проектирования и внедрения средств мониторинга и реагирования на инциденты ИБ, что позволило применить в работе практические навыки.

*Результаты исследования:* проведена категоризация и классификация TI данных. Практическая значимость исследования подтверждается определением преимуществ использования TI данных путем интеграции TIP с различными решениями. Анализ показал, что успешной стратегией выбора TI данных является диверсификация TI данных от различных производителей, поскольку сложно найти одного производителя, который полностью закрыл бы потребности пользователя. Описаны подходы к встраиванию TIP в экосистему SOC, а также основные типы решений в разрезе вариантов реактивных сценариев использования TI данных.

*Ключевые слова:* Threat Intelligence, Threat Intelligence Platform, TI данные, индикаторы компрометации, SOC, аналитика, алертинг, обогащение, уязвимости, угрозы.

Знания тактик, техник и инструментов зловредных программ, используемых злоумышленниками, можно использовать в целях предотвращения дальнейших ИБ-угроз, защиты конечных точек и повышения уровня ИБ в Организации [2].

## Постановка задачи

В рамках данной работы были поставлены следующие задачи:

- категоризировать и классифицировать TI данные;
- выделить преимущества использования TI данных;
- определить направления назначения TI данных;
- сформировать реактивные сценарии использования TI данных;
- сформировать подход встраивания TIP в экосистему SOC;
- выделить особенности решений продуктов TI и TIP.

### Категоризация ТИ данных

Существует несколько категорий ТИ данных:

- технические данные, которые включают в себя:
  - уязвимости: данные о слабостях в ПО;
  - сигнатуры вредоносных программ: уникальные строки кода;
  - логи сетевой активности: события, происходящие в сети;
  - конфигурационные файлы;
  - списки IP- и URL-адресов.
- операционные данные, которые включают в себя:
  - информация о новых вирусах и вредоносных программах;
  - данные об инцидентах безопасности: тип атаки, методы, уязвимости;
  - информация о действующих угрозах: сканирование уязвимостей, бот-атаки;
  - данные об утечках данных: логины и пароли, персональные данные;
  - информация о новых методах атак: социальная инженерия, фишинги.
- тактические данные, которые включают в себя:
  - методы и тактики вредоносных программ: спам, взлом, фишинг, DDoS-атаки;
  - данные о типах атак: SQL-инъекции, межсайтовый скриптинг, клидджекинг;
  - методы защиты от конкретных угроз: конфигурация сети и ПО, обновление системы;
  - информация о методах обнаружения и реагирования: инструменты мониторинга сетевой активности;
  - данные о местоположении источников угроз: IP-адреса.
- стратегические данные, которые включают в себя:
  - информация о группировках хакеров: намерения, цели и методы;
  - географические данные о распространении угроз;
  - информация об уязвимости ПО и слабым местам в системах;
  - тенденции и прогнозы в кибербезопасности: предсказывание будущих угроз и принятие мер по их предотвращению;
  - рекомендации по управлению рисками и методах реагирования на инциденты [3].

### Выгоды от использования ТИ данных

Таким образом, выделяются следующие выгоды от использования ТИ данных:

- проактивная и реактивная защита;
- обнаружение угроз на более ранних этапах — более быстрое реагирование;
- ретроспективное обнаружение угроз;
- развитие системы защиты компании (без трудоемкого тестирования и внедрения);
- повышение уровня обеспечения ИБ.

### Критерии выбора ТИ данных

Ключевыми критериями выбора ТИ данных различных производителей выступают:

- область покрытия (регионы, мир);
- отраслевая специфика (банки, промышленность, др.);
- состав данных (IP-, URL-адреса, Domains, Hash, Malware, APT, др.);
- полнота контекста (даты обнаружения, связанные индикаторы, данные whois, геопривязка, др.);
- актуальность (частота обновления);
- дополнительный инструментарий (отчетность, связи, др.);
- назначение ТИ данных (аналитика, алертинг, обогащение).

*Успешной стратегией* выбора ТИ данных является диверсификация ТИ данных от различных производителей, поскольку сложно найти одного производителя, который полностью закрыл бы потребности пользователя (отчеты Gartner, SANS) [4].

*ТИ данных можно классифицировать следующим образом:*

- по количеству индикаторов (по типам): «плоские» данные — IP- (v4, v6) и URL-адреса, Domain, Hash (SHA256, SHA1, MD5), файл;
- по количеству сущностей: объекты наблюдения, уязвимости, отчеты, вредоносное ПО (далее — ВПО), где:
  - объектами наблюдения является вспомогательная сущность (IP, Hash, Domain), не являющаяся индикатором компрометации, но полезная в процессе анализа;
  - под уязвимостями подразумеваются сведения об уязвимостях (CVE-идентификатор);
  - отчеты представляют под собой PDF-отчеты исследовательских групп о вредоносной активности, объединяющие описательную часть и списки индикаторов;
  - ВПО являются сведения о конкретных вредоносных инструментах и компаниях.
- по качественным показателям: теги, дата, связи, где:
  - тегами являются выставленные теги у индикатора (tor, shellprobe, ...);
  - под датой подразумевается наличие данных о времени начала активности, когда активности/времени жизни индикатора [5];
  - связи — это наличие связей с другими индикаторами компрометации и сущностями, описание активности, в которой замечен индикатор, или ссылка на внешний отчет.

*Выделяются следующие направления назначения ТИ данных:*

- аналитика — предоставляет различные отчеты в PDF-формате, связанные с несколькими типами индикаторов компрометации. Такие отчеты помогают установить принадлежность индикатора компрометации к определенной группировке, определить техники и тактики злоумышленника, предположить дальнейшее развитие атаки или предыдущие шаги;
- алертинг — предоставляет теги в индикаторах компрометации типа IP, что позволяет связывать индикаторы с конкретными уязвимостями и вывести их на непрерывный мониторинг и алертинг;
- обогащение — обогащает весь поток событий данными об активностях, в которых замечены индикаторы, что позволяет дополнить логику правил корреляции [6].

Рассмотрим *реактивные сценарии использования TI данных*, подразумевающие взаимодействие с ними в момент получения индикаторов компрометации в системе:

- сценарий 1 подразумевает отправку TI данных в SIEM. На их основе осуществляется создание правил корреляции, добавление различных уровней доверия. Всю нагрузку и логику работы осуществляет SIEM (рис. 1);

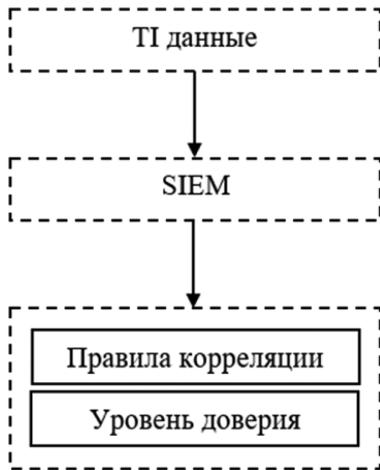


Рис. 1. Сценарий 1 использования TI данных

- сценарий 2 подразумевает отправку TI данных в конечные СЗИ (рис. 2) [7];
- сценарий 3 подразумевает отправку TI данных в TI Platform (далее — TIP) (рис. 3). Данный сценарий в том числе реализует описанные сценарии ранее, т.к. TIP способен отправлять TI данные непосредственно в:
  - SIEM, обогащая правила корреляции;
  - на конечные СЗИ;
  - в SOAR, создавая инциденты ИБ;
  - функционал «алертинг» позволяет оперативно оповещать администраторов ИБ об инциденте ИБ.

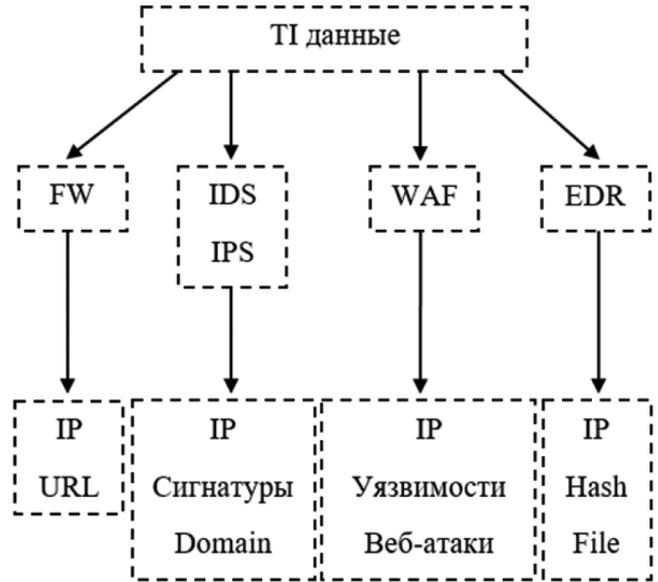


Рис. 2. Сценарий 2 использования TI данных

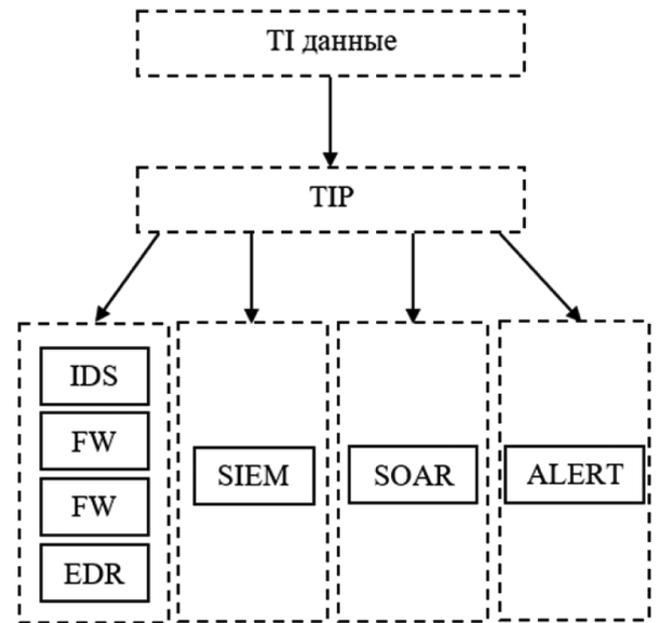


Рис. 3. Сценарий 3 использования TI данных

**Продукты TI: краткий обзор**

1. RST Cloud Threat Feed, который:
  - осуществляет агрегацию и обогащение индикаторов из open-source источников;
  - в качестве индикаторов выступают: IP-, URL-адреса, Domain;
  - выполняет кросс-корреляцию данных;
  - выполняет «умный» скоринг индикаторов;
  - реализует быструю интеграцию с SIEM/SOAR/TIP.
2. Kaspersky Threat Intelligence Services, который:
  - предоставляет потоки данных об угрозах, отражающих отраслевую специфику (например, для АСУТП);
  - предоставляет детальные комплексные и кастомизированные отчеты об угрозах.

3. Group-IB Threat Intelligence & Attribution, который:
  - предоставляет аналитику по скомпрометированным аккаунтам;
  - предоставляет детальную аналитику по хакерским группировкам;
  - предоставляет аналитику по скомпрометированным устройствам (EMEI);
  - выполняет графовый анализ.

#### Автоматизация обработки ТИ данных

TIP — система, предназначенная для автоматизации обработки ТИ данных и осуществляющая:

1. сбор данных об угрозах из различных источников;
2. объединение данных в единую систему (агрегация данных);
3. выявление паттернов, трендов, уровень доверия (анализ данных);
4. классификацию угроз по критериям (типу атаки, цели, сектору экономики);
5. распространение через уведомление, отчеты, дашборды;
6. интеграцию с системами обнаружения инцидента, управления уязвимостями, средствами защиты информации, системами мониторинга;
7. автоматическую блокировку IP-адресов, создание правил безопасности, отправку уведомлений (реагирование) [8].

#### TIP в экосистеме SOC

Поставщики данных поставляют данные в TIP, расположенном в центре SOC. Предложены следующие варианты интеграции (рис. 4) [9]:

1. SIEM:
  - отправка индикаторов компрометации непосредственно в SIEM. Всю логику работы осуществляет SIEM;
  - сбор индикаторов компрометации из SIEM. Всю логику работы осуществляет TIP.
2. SOAR:
  - отправка в SOAR карточек инцидентов и оповещений;
  - аналитики информационной безопасности могут загрузить отчет по результату анализа угрозы информационной безопасности в TIP. Таким образом, SOAR будет являться неким поставщиком собственных отчетов, которые будут направляться в TIP. TIP может делиться этими новыми данными в рамках своей Организации [10].
3. Внешние СЗИ — распространение индикаторов компрометации.

#### Продукты TIP: краткий обзор

1. Kaspersky CyberTrace, который:
  - выполняет агрегацию «своих» и «чужих» потоков ТИ данных;
  - реализует возможность заведения пользовательских потоков ТИ данных;
  - предоставляет статистику использования для измерения эффективности используемых потоков ТИ данных.
2. R-Vision TIP, который:
  - реализует интеграцию с ФинЦЕРТ;
  - выполняет ретроспективный и проактивный поиск;



Рис. 4. Расположение TIP в экосистеме SOC

— осуществляет формирование собственных бюллетеней угроз и уязвимостей.

### Выводы

Авторами проанализирован опыт работы инженеров по информационной безопасности, специализирующихся в области проектирования и внедрения средств

мониторинга и реагирования на инциденты ИБ, что позволило обосновать категоризацию и классификацию ТИ данных, выделить преимущества использования ТИ данных и определить направления их назначения ТИ данных, сформировать реактивные сценарии использования ТИ данных и подход встраивания ТИР в экосистему SOC. Приведен краткий обзор ТИ-решений и ТИР-решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Набиуллин, А.А. Применение технологии threat intelligence в информационной безопасности / А.А. Набиуллин, С.Д. Захаров, М.Р. Юсупов // Мавлютовские чтения: материалы XV Всероссийской молодежной научной конференции: в 7 томах, Уфа, 26–28 октября 2021 года. Том 4. — Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2021. — С. 486–494.
2. Лесников, А.Н. Cyber threat intelligence — проактивное обнаружение угроз кибербезопасности / А.Н. Лесников // Информационная безопасность в банковско-финансовой сфере: Сборник научных работ участников ежегодной международной молодежной научно-практической конференции в рамках V Международного форума «Как попасть в пятерку?», Москва, 29 ноября 2018 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Прометей», 2018. — С. 179–185.
3. Kireev, A.P. Application of Threat Intelligence methods in investigating information security incidents / A.P. Kireev, M.V. Songin // Научные исследования в современном мире. Теория и практика: Сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10 мая 2021 года. — СПб: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2021. — Р. 96–97.
4. Исаков, Н.С. Источники информации об угрозах безопасности информации для Threat Intelligence процесса / Н.С. Исаков, В.Г. Жуков, Д.В. Смирнов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. — 2018. — Т. 2, № 4(14). — С. 224–226.
5. Дрянных, Ю.Ю. Автоматизация сбора, проверки и загрузки индикаторов компрометации в платформу threat intelligence / Ю.Ю. Дрянных, В.Г. Жуков // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. В 3-х томах, Красноярск, 08–12 апреля 2019 года / Под общей редакцией Ю.Ю. Логинова. Том 2. — Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2019. — С. 225–227.
6. Бурова, А.В. Threat Intelligence Platform как драйвер автоматизированной информационной безопасности / А.В. Бурова, Ю.А. Матвеева // Цифровизация общества: состояние, проблемы, перспективы: материалы IX Ежегодной Всероссийской научно-практической конференции, Москва, 07 июня 2022 года. Том 1. — Москва: ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», 2022. — С. 158–163.
7. Нурутдинов, А.А. Threat Intelligence в обеспечении информационной безопасности / А.А. Нурутдинов // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сборник статей по материалам СХХ международной научно-практической конференции, Москва, 03 июня 2019 года. Том 20 (120). — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Интернаука», 2019. — С. 391–396.
8. Жирнов, В.И. THREAT INTELLIGENCE как основной инструмент предотвращения кибератак / В.И. Жирнов, А.В. Иванов // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: Сборник трудов II Международной научно-практической конференции, Балаково, 18 декабря 2019 года. Том 1. — Балаково: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2020. — С. 284–286.
9. Дрянных, Ю.Ю. Структурный подход к расследованию инцидентов информационной безопасности на базе платформы threat intelligence / Ю.Ю. Дрянных, В.Г. Жуков // Решетневские чтения. — 2018. — Т. 2. — С. 324–325.
10. Gupta, S. Cyber security threat intelligence using data mining techniques and artificial intelligence / S. Gupta, A. S. Sabitha, R. Punhani // International Journal of Recent Technology and Engineering. — 2019. — Vol. 8, No. 3. — P. 6133–6140.

© Боровская Ольга Евгеньевна (borovskaya\_olechka@mail.ru); Савельев Иван Андреевич (iasavelyev@fa.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ПАТТЕРНОВ АУДИТОРИИ ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ

## SYSTEMATIZATION OF DATA FOR THE DEVELOPMENT OF A MODEL FOR PREDICTING BEHAVIORAL PATTERNS OF THE AUDIENCE OF INTERNET RESOURCES

D. Buhonov

*Summary.* Modern Internet resources strive to optimize user experience to attract and retain audiences. Therefore, visitor behavioral data is a valuable source of information. Their analysis allows us to understand the preferences and needs of users, which can then be used as a basis for various research and development of software solutions.

The work proposes the use of a mathematical model based on the results of an analysis of behavioral factors of users of a large media resource to optimize its operation.

*Keywords:* behavioral data, statistical data, Information technology, CTR, headlines, website optimization.

**Бухонов Дмитрий Олегович**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет»;  
Ведущий разработчик, ООО «ТТК ДИДЖИТАЛ»  
d.buhonov@yandex.ru

*Аннотация.* Современные интернет-ресурсы стремятся оптимизировать пользовательский опыт для привлечения и удержания аудитории. Поэтому поведенческие данные посетителей являются ценным источником информации. Их анализ позволяет понять предпочтения и потребности пользователей, что затем можно использовать как базу для различных исследований и разработки программных решений.

Работа предлагает использование математической модели, основанной на результатах анализа поведенческих факторов пользователей большого медиаресурса, для оптимизации его работы.

*Ключевые слова:* поведенческие данные, статистические данные, информационные технологии, CTR, заголовки, оптимизация сайтов.

Использование статистических данных выполняет важную функцию в процессе оптимизации работы ресурсов и повышения эффективности стратегий маркетинга. Анализ этих данных предоставляет ценную информацию о поведении пользователей, позволяя выявить её предпочтения и потребности, а также определить сильные стороны сайта. Это дает возможность улучшить пользовательский опыт, подстроить контент под интересы аудитории и оптимизировать рекламные кампании с учётом реальных предпочтений посетителей [3].

Целью данной работы является работа над информацией, которая станет основой модели прогнозирования, использующей статистические данные для улучшения работы сайтов. Для её реализации необходимо:

- Разобрать основные возможности использования статистических данных об активности пользователей со статейными заголовками в рамках улучшения работы интернет-ресурса;
- Определить влияние поведенческих факторов на процентную метрику показов и прочтений;
- Проанализировать возможности оптимизации сайтов и привлечения целевой аудитории с помощью программных решений, основанных на этих данных.

В качестве основного метода исследования был выбран метод наименьших квадратов, поскольку он является одним из наиболее оптимальных инструментов, позволяющих увеличить коэффициент достоверности предсказания.

Эффективность интернет-ресурсов становится важным инструментом в современном образовании, исследованиях и повседневной жизни. Различные статьи и исследования обсуждают роль и возможности, которые предоставляют интернет-ресурсы в различных областях: от обучения иностранным языкам до научных исследований.

Интернет-ресурсы активно внедряют инструменты для персонализации контента и улучшения пользовательского опыта [3]. Интеграция цифровых инструментов используется для оптимизации рекламных алгоритмов в ритейле, а также для исследований, трендов, влияющих на будущее цифровой экономики и бизнеса [1].

Основываясь на актуальных направлениях работы веб-ресурсов, можно выделить несколько путей применения пользовательских данных:

1. **Сегментация аудитории.** Статистические данные позволяют выделить ключевые сегменты аудито-

рии, что помогает создать персонализированный контент и улучшить взаимодействие с пользователями [2].

2. **Оптимизация контента.** Анализ статистики помогает понять, какой контент на сайте наиболее популярен и востребован, что позволяет создавать более привлекательный и целенаправленный материал [1].
3. **Улучшение пользовательского опыта.** Статистические данные о поведении пользователей на сайте помогают выявить слабые места интерфейса и оптимизировать его для удобства посетителей [1].
4. **Оценка эффективности рекламы.** Анализ данных о трафике и поведении после рекламной кампании позволяет оценить её результативность и корректировать стратегию [2].
5. **Прогнозирование поведения клиентов.** Статистические модели на основе пользовательских данных помогают предвидеть предпочтения пользователей и их дальнейшие действия, что требуется для улучшения персонализированных маркетинговых стратегий [2], повышения посещаемости и равномерного распределения трафика в рамках одного сайта.

Для реализации математической модели в данной работе использовались основные показатели поведенческих данных на выбранном ресурсе: показы, клики, загрузки заголовка.

**Обоснование метода обучения модели и выбранных данных**

В качестве показателя эффективности материала (статьи на сайте) выбрано соотношение просмотров к кликам по заголовкам (далее: win\_rate).

Математическая модель представлена линейной регрессией. Линейная регрессия представляет собой статистический метод, используемый для моделирования

отношений между зависимой переменной (в данном случае, win\_rate) и одной или несколькими независимыми переменными (признаками: avg\_views, avg\_clicks, даты обновления, создания и другие). Для обучения модели используется метод наименьших квадратов для обучения модели линейной регрессии (LeastSquares).

Для определения логики взаимосвязей между классами, методами и техническими классами, а также для выбора данных и обучения модели использовалась диаграмма (рис. 1).

Для решения задачи прогнозирования win\_rate на основе поведенческих данных пользователей сайта был выбран подход, использующий линейную регрессию. Данный выбор обусловлен несколькими факторами, включая структуру данных, их доступность и понятность результатов.

С датасета осуществляется выборка средних значений собранных показателей действий пользователей, на основе чего выполняется обучение модели. Обобщается информация по следующим показателям:

- просмотры;
- уникальные просмотры;
- клики;
- уникальные клики;
- максимальное и минимальное количество загрузок;
- даты просмотров.

Для построения модели был использован ArrayDataset, который позволяет работать с массивами данных, что является удобным для предварительной обработки информации перед обучением модели. Данный подход класс также предоставляет возможность более гибко манипулировать данными и признаками, а также упрощает подготовку данных для обучения.

LeastSquares был выбран в качестве метода линейной регрессии для обучения модели. Этот метод позволяет

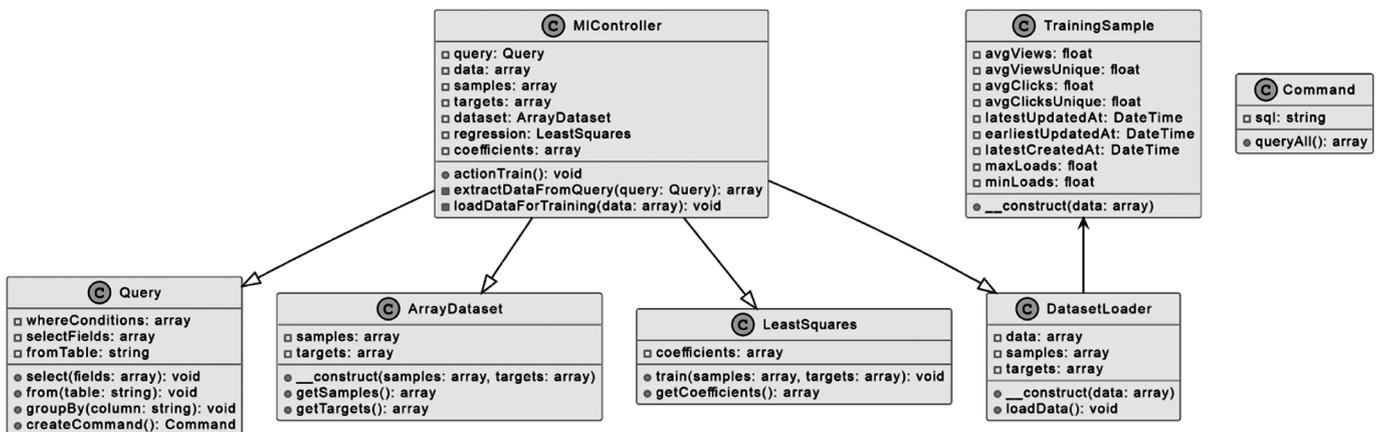


Рис. 1. Визуализация диаграммы классов

аппроксимировать зависимость между независимыми переменными (признаками) и зависимой переменной ( $win\_rate$ ) линейной функцией. При этом используется метод наименьших квадратов для минимизации разницы между фактическими и предсказанными значениями.

Выбранные данные представляют собой агрегированную информацию о статьях на сайте, включая средние значения просмотров, кликов, даты обновления и создания, а также максимальные и минимальные значения загрузок. Эти данные были выбраны на основе их релевантности и предполагаемого влияния на пользовательскую активность. Например, количество просмотров и кликов, а также даты обновления и создания, могут дать представление о популярности и актуальности статьи, влияя таким образом на  $win\_rate$ .

Эти коэффициенты регрессии представляют значимость каждого признака в прогнозировании  $win\_rate$ . Давайте проанализируем результаты:

0 ( $avg\_views$ ): -0.0595  
 1 ( $avg\_views\_unique$ ): 0.0697  
 2 ( $avg\_clicks$ ): 0.9123  
 3 ( $avg\_clicks\_unique$ ): -1.0383  
 4 ( $latest\_updated\_at$ ): 0.2347  
 5 ( $earliest\_updated\_at$ ): 1.0398  
 6 ( $latest\_created\_at$ ): -5.0225  
 7 ( $max\_loads$ ): 8.8691  
 8 ( $min\_loads$ ): 0.0023

#### Анализ результатов

- $avg\_views$  и  $avg\_views\_unique$ , хоть и имеют небольшие коэффициенты, всё же оказывают некоторое влияние на  $win\_rate$ . Это может указывать

на то, что среднее количество просмотров, хоть и не является ключевым фактором, все же оказывает некоторое влияние на вовлеченность пользователей.

- $avg\_clicks$  и  $avg\_clicks\_unique$  имеют значительное влияние на  $win\_rate$ , что подчеркивает важность активности пользователей. Большое количество кликов положительно влияет на  $win\_rate$ , в то время как уникальность кликов имеет негативное воздействие.
- $latest\_updated\_at$  и  $earliest\_updated\_at$  также оказывают сильное положительное воздействие на  $win\_rate$ , подчеркивая важность свежести и актуальности контента для пользователей.
- $latest\_created\_at$  имеет отрицательное влияние, что может означать, что слишком свежий контент может ещё не успеть набрать необходимую активность.

Остальные признаки, близкие к нулю, могут означать, что они имеют менее существенное влияние на  $win\_rate$ .

Исходя из анализа коэффициентов регрессии, можно сделать вывод о факторах, оказывающих сильное влияние на  $win\_rate$  статьи. Количество кликов, их уникальность, актуальность статьи по датам обновления и создания играют ключевую роль в определении пользовательской активности. Эти результаты могут помочь оптимизировать сайт и контент для увеличения  $win\_rate$ .

Полученные результаты позволяют увидеть важность активности пользователей, актуальности контента и, в некоторой степени, его привлекательности (просмотров) для определения  $win\_rate$  и дальнейшего анализа его в рамках работы с интернет-ресурсом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Або-Рашед Кнаан. Использование инструментов веб-аналитики для улучшения посещаемости сайта // Научный результат. Информационные технологии. — Т.5. — №2, 2020
2. Кедров С.А., Кузнецов С.О. Исследование групп пользователей Интернет-ресурсами методами анализа формальных понятий и разработки данных (Data Mining) // Бизнес-информатика. — ФГАОУ ВО «НИУ «ВШЭ», Москва. — 2007. — С. 45–57.
3. Нурутдинов Т.А. Архитектура и программное обеспечение для сбора пользовательских событий (clickstream) и их последующего анализа // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. — 2023. — 12(117). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/16541> (дата обращения: 19.12.2023).

© Бухонов Дмитрий Олегович (d.buhonov@yandex.ru)  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

## DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN MODEL: TECHNOLOGICAL ASPECTS AND PRACTICAL APPLICATIONS

*M. Gladyshev*

*Summary.* Digital twins, emulating virtual versions of real objects or subjects, are becoming an integral part of the modern digital world. In the context of their development, special attention is paid to technological aspects that ensure a high degree of accuracy and realism of the models. This article discusses the key technological aspects and practical applications in creating digital twin models. Consideration of different modeling methods, data processing algorithms, and use cases in various fields opens up new possibilities in understanding and applying digital twins. The technology under consideration is more promising than ever and is already used in a number of leading ports in the world, and has every chance of becoming one of the key factors in the development of a modern transport system.

*Keywords:* digital twin, port facilities, technology, modeling.

*Гладышев Михаил Дмитриевич*

*Аспирант, ФГБОУ ВО Астраханский государственный  
университет им. В.Н. Татищева;  
Инженер-конструктор,  
ООО «СМЕЛКОМ РОБОТИКС», г. Астрахань  
mih.gladyshev@gmail.com*

*Аннотация.* Цифровые двойники, эмулирующие виртуальные версии реальных объектов или субъектов, становятся неотъемлемой частью современного цифрового мира. В контексте их разработки, особое внимание уделяется технологическим аспектам, обеспечивающим высокую степень точности и реализма моделей. Эта статья обсуждает ключевые технологические аспекты и практические применения в создании моделей цифрового двойника. Рассмотрение различных методов моделирования, алгоритмов обработки данных, а также вариантов использования в различных областях, открывает новые возможности в понимании и применении цифровых двойников. Рассматриваемая технология, является, как никогда перспективной и уже используется в ряде ведущих портов мира, и имеющая все шансы стать одним из ключевых факторов развития современной транспортно-портовой системы.

*Ключевые слова:* цифровой двойник, портовые сооружения, технологии, моделирование.

### Введение

Цифровой двойник порта — революция в управлении портовой инфраструктурой. В современном мире портовая инфраструктура является жизненно важной артерией мировой торговли. Эффективность работы портов напрямую влияет на скорость и стоимость доставки товаров, а значит, и на конкурентоспособность бизнеса. В последние годы набирает обороты инновационная технология, способная кардинально изменить подход к управлению портами — система цифрового двойника (ЦДП).

ЦДП представляет собой виртуальную модель порта, созданную на основе точных данных о его работе. Эта модель отражает все аспекты функционирования порта, включая грузопотоки, движение судов, работу погрузочно-разгрузочных комплексов, метеорологические условия и многое другое. Использование ЦДП открывает широкие возможности для оптимизации работы порта, повышения его безопасности и эффективности.

### Технологические аспекты разработки модели цифрового двойника

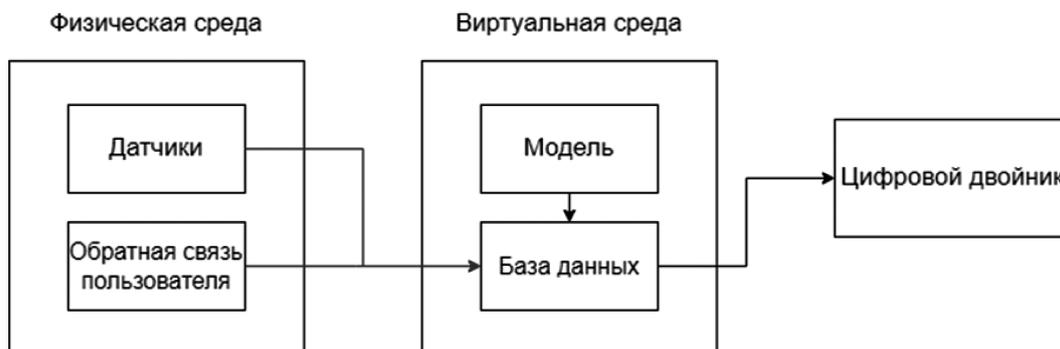
Цифровые двойники, на сегодняшний день, представляют собой виртуальные аналоги реальных объек-

тов или сущностей, созданные с использованием передовых технологий моделирования и визуализации. Эти модели могут варьироваться от простых трехмерных образов до сложных виртуальных ассоциаций, полностью эмулирующих поведение и характеристики оригиналов.

Ключевые технологии и решения, используемые в разработке цифровых двойников, включают в себя: Трехмерное моделирование; Сканирование и захват данных; Методы обработки изображений и видео; Искусственный интеллект и машинное обучение; Интерфейсы взаимодействия [1].

Эти технологии позволяют создавать цифровые модели, которые не только точно отражают внешний вид и характеристики объектов, но и способны эмулировать их поведение и взаимодействие с окружающей средой, структура показана [2] на Рисунке 1.

Система цифрового двойника порта (ЦДП) может представлять собой комплексную информационную систему, которая объединяет в себе различные модели, данные и алгоритмы для создания виртуальной копии реального порта. ЦДП позволяет оптимизировать работу порта, повысить его эффективность и безопасность.



Источник: Составлено автором

Рис. 1. Общая структура цифрового двойника

Для корректной и точной работы разрабатываемой системы, необходимо обеспечить наличие следующих узлов:

1. *Сбор и интеграция данных:* датчики, установленные на различных объектах портовой инфраструктуры (причалах, кранах, судах), собирают данные о их состоянии, местоположении, скорости движения и т.д.; Системы мониторинга фиксируют информацию о погодных условиях, уровне воды, движении судов в акватории порта; Информационные системы портового оператора предоставляют данные о планируемых и фактических грузопотоках, расписании движения судов, статусе обработки грузов.
2. *Обработка и анализ данных:* полученные данные очищаются, фильтруются и нормализуются; Аналитические алгоритмы обрабатывают данные и выявляют закономерности, тренды и отклонения от нормы; Модели прогнозирования предсказывают будущее состояние системы, например, время обработки судна, вероятность поломки оборудования. [3,4]
3. *Визуализация и моделирование:* 3D-модель порта отображает его виртуальную копию, на которой в режиме реального времени отображаются данные о состоянии объектов, движении судов, грузопотоках; Системы имитационного моделирования позволяют проигрывать различные сценарии работы порта, например, изменение грузопотока, внедрение новых технологий.
4. *Управление и оптимизация:* на основе информации, полученной от ЦДП, диспетчеры порта принимают решения об оптимизации работы системы; Автоматизированные системы управления могут самостоятельно регулировать работу портового оборудования, оптимизировать маршруты движения судов и распределять ресурсы. [5,6]

Предположим, что ЦДП используется для оптимизации процесса обработки контейнеров в порту [7]. Система может работать следующим образом:

- Датчики, установленные на кранах, фиксируют время, необходимое для разгрузки/погрузки каждого контейнера.
- Аналитический алгоритм на основе этих данных определяет среднее время обработки контейнера.[8]
- Модель прогнозирования, учитывая время прибытия судна и количество контейнеров на борту, предсказывает время, необходимое для разгрузки/погрузки судна.[9]
- Диспетчер порта: используя информацию, полученную от ЦДП, планирует работу кранов, и распределяет контейнеры по складам, чтобы минимизировать время простоя судна в порту.[10]

Обозначим:

- $T_i$  — время, необходимое для разгрузки/погрузки  $i$ -го контейнера;
- $n$  — количество контейнеров на судне;
- $t_p$  — среднее время обработки контейнера;
- $t_r$  — прогнозируемое время разгрузки/погрузки судна.

Тогда:

$$t_p = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (1)$$

$$t_r = n * t_p \quad (2)$$

Диспетчер порта может использовать  $t_r$  для планирования работы кранов и распределения контейнеров по складам.

Система ЦДП может быть представлена в виде следующей системы уравнений:

$$x_1 = f_1(d_1 + d_2 + \dots + d_n)$$

$$x_2 = f_2(x_1, d_{n+1} + d_{n+2} + \dots + d_{n+i})$$

...

$$x_m = f_m(x_{m-1}, x_{m-2}, x_1, d_{n+m-1} + \dots + d_n)$$

где:

- $x_i$  — выходные переменные системы — прогнозируемое время обработки судна и др;
- $d_i$  — входные переменные системы — данные с датчиков и др.;
- $f_i$  — функции, реализующие алгоритмы обработки данных, прогнозирования и оптимизации.

Эта система уравнений описывает общую структуру ЦДП, но конкретные функции  $f_i$  и входные/выходные переменные  $x_i$  и  $d_i$  будут зависеть от конкретной задачи, для которой используется ЦДП. При этом, как говорилось ранее ЦДП представляет собой сложную систему, состоящую из множества взаимосвязанных подсистем. Для более подробного описания работы ЦДП можно попробовать использовать систему дифференциальных уравнений, которая учитывает различные факторы, влияющие на работу порта.

$$\frac{dx(t)}{dt} = f(x(t), u(t)) \quad (3)$$

$$y(t) = g(x(t)) \quad (4)$$

где:

$x(t)$  — вектор состояния системы в момент времени  $t$ , который может включать в себя такие переменные, как: количество судов, ожидающих обработки в порту, количество судов, находящихся в процессе обработки, время обработки каждого судна, грузопоток в порту, состояние портовой инфраструктуры (например, доступность причалов, кранов), погодные условия, и может выражаться как:

$$x(t) = (n_w, n_p, n_q, t_1 \dots t_{np}, G_1 \dots G_{np}, G_{tot}, s_2 \dots s_m, w)$$

$n_w$  — количество судов, ожидающих обработки в порту;

$n_p$  — количество судов, находящихся в процессе обработки;

$n_q$  — количество судов, покинувших порт.

$t_i$  — время обработки  $i$ -го судна, где  $i = 1, 2, \dots, n_p$ ;

$t_{avg}$  — среднее время обработки судна.

$G_i$  — грузопоток  $i$ -го судна, где  $i = 1, 2, \dots, n_p$ ;

$G_{tot}$  — общий грузопоток в порту.

$s_j$  — состояние  $j$ -го элемента портовой инфраструктуры, где  $j = 1, 2, \dots, m$ , (например, причал, кран, склад);

$s_j = 1$  — элемент доступен;

$s_j = 0$  — элемент недоступен.

$w$  — вектор погодных условий, который может включать в себя такие переменные, как: скорость ветра, волнение моря, видимость.

$u(t)$  — вектор управляющих воздействий на систему, который может включать в себя: решения диспетчеров

порта о распределении ресурсов, изменения в расписании движения судов, ремонтные работы портовой инфраструктуры.

$$u(t) = (R, P, t_m, d_m, w_c)$$

$r_i$  — количество ресурсов, выделенных для обработки  $i$ -го судна, где  $i = 1, 2, \dots, n_p$ ;

$R$  — вектор распределения ресурсов:  $R = [r_1, r_2, \dots, r_{n_p}]$ .

$p_i$  — приоритет обработки  $i$ -го судна, где  $i = 1, 2, \dots, n_p$ ;

$P$  — вектор приоритетов:  $P = [p_1, p_2, \dots, p_{n_p}]$ .

$t_m$  — время начала ремонтных работ на  $m$ -ом элементе портовой инфраструктуры;

$d_m$  — продолжительность ремонтных работ на  $m$ -ом элементе портовой инфраструктуры.

$w_c$  — решение о корректировке работы порта в связи с погодными условиями.

$f(x(t), u(t))$  — векторная функция, описывающая динамику системы, т.е. изменение состояния системы в зависимости от управляющих воздействий.

$g(x(t))$  — векторная функция, описывающая выходные переменные системы, которые представляют интерес для пользователя, например, время ожидания судов в порту, пропускная способность порта.

### Заключение

Система цифрового двойника порта представляет собой многопараметрическую и динамическую систему, предназначенную для моделирования и оптимизации работы порта в режиме реального времени. ЦДП состоит из множества взаимосвязанных подсистем, каждая из которых описывает один из аспектов работы порта. Вектор состояния системы  $x(t)$  включает в себя множество переменных, отражающих текущее состояние и динамику работы порта. Вектор управляющих воздействий  $u(t)$  системы ЦДП представляет собой набор решений, принимаемых диспетчерами порта для оптимизации его работы.

ЦДП может быть дополнена другими подсистемами и модулями, что позволяет расширить ее функциональные возможности и повысить точность моделирования. Использование ЦДП позволяет повысить эффективность работы порта за счет оптимизации грузопотоков, сокращения времени ожидания судов и снижения рисков возникновения аварийных ситуаций. ЦДП является перспективным инструментом для управления портовой инфраструктурой и может сыграть важную роль в развитии современной транспортной системы.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Астраханского государственного университета (Приоритет 2030).

ЛИТЕРАТУРА

1. Лихтциндер Борис Яковлевич, Ольберг Полина Алексеевна. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022. №4.
2. Иванов Сергей Александрович, Никольская Ксения Юрьевна, Радченко Глеб Игоревич, Соколинский Леонид Борисович, Цымблер Михаил Леонидович. КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГОРОДА // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2020. №4.
3. Горькавый Михаил Александрович, Горькавый Александр Иванович, Соловьев Вячеслав Алексеевич, Егорова Валерия Павловна, Мельниченко Маркел Андреевич. СПЕЦИФИКА АРХИТЕКТУРЫ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА КОЛЛАБОРАТИВНОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА НА БАЗЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ // Известия ТулГУ. Технические науки. 2022. №4.
4. Алаасам Амир Басим Абдуламир, Радченко Глеб Игоревич. Микро-потoki работ: сочетание потоков работ и потоковой обработки данных для поддержки цифровых двойников технологических процессов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Вычислительная математика и информатика. 2019.
5. Шубенкова Ксения Андреевна, Николаев Тимур Алексеевич, Тюрин Никита Андреевич. Повышение эффективности процессов в дилерско-сервисных центрах с помощью технологии Digital Twin // Вестник ЮУрГУ. Серия: Экономика и менеджмент. 2018. №3.
6. Коновалова Г.И. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ // Организатор производства. 2023. №1.
7. Тищенко В.И. ФЕНОМЕН «ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА» // Sciences of Europe. 2021. № 85–3.
8. Лихтциндер Борис Яковлевич, Ольберг Полина Алексеевна. МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2022. №4.
9. Суримова В.А., Скородумова Е.А. СОЗДАНИЕ И ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2022. №4.
10. Соколов Юрий Алексеевич, Гусев Сергей Альбертович. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМ ДВОЙНИКОМ // Металлообработка. 2020. №5–6 (119–120).

---

© Гладышев Михаил Дмитриевич (mih.gladishev@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## АВТОМАТИЗАЦИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ

### AUTOMATION IN INDUSTRY: THE APPLICATION OF VIRTUAL DESIGN AND MODELING

**A. Goncharov**

*Summary.* In the context of globalization and accelerated progress, the introduction of automated systems is becoming an integral part of the survival and growth strategy for most industrial enterprises. This is due to a variety of factors, including the need to increase productivity, improve product quality, reduce costs and minimize the human factor in production processes. Automation in industry benefits greatly from the use of virtual design and simulation. These technologies make it possible to improve the development process, reduce costs and improve the quality of the final product. The article discusses the characteristics and advantages of using various virtual design and modeling technologies in the activities of an industrial enterprise. The focus is on technologies such as digital twins, as well as 3D modeling and simulation. In recent years, they have become an important tool for modern industrial enterprises, helping them to increase efficiency, reduce costs, improve product quality and ensure safety. Technologies such as programming and testing of programmable logic controllers, production and logistics planning using industrial modeling, the use of modeling to analyze and optimize production processes, virtual methods of control and diagnostics to ensure product quality, training and ensuring the safety of industrial personnel were also considered.

*Keywords:* production automation, production efficiency, industry, innovative technologies, 3D modeling, simulation, digital twin.

**Гончаров Андрей Витальевич**

*Кандидат технических наук, доцент, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского*  
[a.goncharov@mgutm.ru](mailto:a.goncharov@mgutm.ru)

*Аннотация.* В условиях глобализации и ускоренного прогресса, внедрение автоматизированных систем становится неотъемлемой частью стратегии выживания и роста для большинства промышленных предприятий. Это обусловлено множеством факторов, включая необходимость повышения производительности, улучшения качества продукции, снижения издержек и минимизации человеческого фактора в производственных процессах. Автоматизация в промышленности значительно выигрывает от использования виртуального проектирования и моделирования. Эти технологии позволяют улучшить процесс разработки, снизить затраты и повысить качество конечного продукта. В статье рассмотрены характеристики и преимущества применения различных технологий виртуального проектирования и моделирования в деятельности промышленного предприятия. Акцент сделан на таких технологиях, как цифровые двойники, а также 3D-моделирование и симуляция. В последние годы они становятся важным инструментом для современных промышленных предприятий, помогая им повышать эффективность, снижать затраты, улучшать качество продукции и обеспечивать безопасность. Также были рассмотрены такие технологии, как программирование и тестирование программируемых логических контроллеров, планирование производства и логистики с помощью моделирования в промышленности, использование моделирования для анализа и оптимизации производственных процессов, виртуальные методы контроля и диагностики для обеспечения качества продукции, обучение и обеспечение безопасности персонала промышленного предприятия.

*Ключевые слова:* автоматизация производства, эффективность производства, промышленность, инновационные технологии, 3D-моделирование, симуляция, цифровой двойник.

**Р**оль автоматизации в промышленности обусловлена несколькими факторами. Прежде всего, она дает повышение производительности. Автоматизированные системы могут работать быстрее и точнее, чем люди, что увеличивает объем производства и снижает количество ошибок. Роботы и автоматизированные машины могут работать 24/7 без перерывов, что значительно повышает общую производительность. Кроме того, автоматизация в промышленности позволяет улучшать качество продукции. Автоматические системы обеспечивают высокую степень повторяемости операций, что улучшает качество продукции и уменьшает количество дефектов. Также автоматизация позволяет внедрять системы контроля качества в реальном времени, что помогает быстро выявлять и устранять дефекты. Автоматизация позволяет снизить количество ручного труда, что приводит к сокращению расходов на заработную плату

и сопутствующие издержки. Автоматизированные системы могут более эффективно использовать сырье и энергию, что также снижает затраты. Вместе с тем, автоматизация дает относительную гарантию безопасности. Машины и роботы могут выполнять опасные или тяжелые работы, снижая риск травм для работников. Автоматизация позволяет более эффективно контролировать производственные процессы и оперативно реагировать на аварийные ситуации [2, 6, 7].

Это далеко не все аспекты, определяющие роль автоматизации в промышленности, так как каждая технология дает свои преимущества и выгоды. В рамках данного исследования рассмотрим основные направления применения таких современных технологий, как виртуальное проектирование и моделирование в промышленной автоматизации.

Наиболее распространенным направлением применения виртуального проектирования являются так называемые цифровые двойники. Цифровые двойники — это виртуальные копии физических объектов или систем, которые позволяют моделировать их поведение в реальном времени. Они используются для мониторинга, анализа и оптимизации работы оборудования, прогнозирования отказов и планирования технического обслуживания [9].

Все современные предприятия, развивающиеся на мировом рынке и идущие в ногу с инновационными технологиями, имеют цифрового двойника в интернете. Цифровой двойник промышленного предприятия — это виртуальная модель реального производственного процесса, оборудования или целого предприятия, которая используется для анализа, мониторинга и оптимизации его работы. Цифровые двойники интегрируют данные от сенсоров, IoT-устройств и других источников, позволяя создавать точные и динамичные реплики физических объектов и процессов [3].

Рассмотрим преимущества использования цифровых двойников в промышленности (табл.).

Таблица 1.  
Основные преимущества применения цифровых двойников на промышленных предприятиях

Наименование	Характеристика
Повышение эффективности и производительности	Оптимизация процессов: Анализ и оптимизация производственных процессов для повышения производительности и снижения затрат. Снижение простоев: Предиктивное обслуживание позволяет предотвратить непредвиденные отказы и минимизировать простои оборудования.
Улучшение качества продукции	Контроль качества: Мониторинг и анализ параметров процесса в реальном времени позволяет оперативно реагировать на отклонения и поддерживать высокое качество продукции. Анализ дефектов: Использование данных для анализа причин возникновения дефектов и их устранения.
Снижение затрат	Оптимизация использования ресурсов: Эффективное управление ресурсами, такими как материалы, энергия и рабочая сила. Снижение затрат на обслуживание: Предиктивное обслуживание и оптимизация процессов обслуживания позволяют снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание.
Повышение безопасности	Мониторинг безопасности: Обеспечение безопасности работников и оборудования посредством мониторинга и анализа данных в реальном времени. Анализ рисков: Возможность моделирования различных сценариев для оценки и минимизации рисков.

Наименование	Характеристика
Инновации и ускорение разработки	Быстрая итерация: Возможность быстро тестировать и внедрять новые идеи и технологии. Сокращение времени вывода на рынок: Ускорение процесса разработки и вывода новых продуктов на рынок за счет более эффективного тестирования и оптимизации.
Поддержка принятия решений	Данные в режиме реального времени: Обеспечение доступа к актуальным данным для принятия обоснованных решений. Моделирование последствий: Возможность моделировать последствия различных решений и выбирать оптимальные стратегии

Источник: составлено автором по данным [3, 9]

Примеры применения цифровых двойников [3, 9]:

1. Производственные линии. Оптимизация работы производственных линий, контроль качества продукции, снижение простоев.
2. Энергетические системы. Мониторинг и оптимизация работы энергетических систем, прогнозирование отказов и планирование обслуживания.
3. Логистика и складирование. Оптимизация логистических процессов, управление запасами и складскими операциями.
4. Строительство и инфраструктура. Мониторинг состояния зданий и инфраструктурных объектов, планирование ремонта и обслуживания.

Цифровые двойники становятся важным инструментом для современных промышленных предприятий, помогая им повышать эффективность, снижать затраты, улучшать качество продукции и обеспечивать безопасность. Виртуальная копия соответствует физическому объекту или процессу с высокой степенью точности. Возможно использование данных от сенсоров, IoT-устройств, SCADA-систем и других источников для создания и обновления модели в реальном времени. Возможно проведение мониторинга производственных процессов и оборудования в реальном времени, а также использование аналитических методов и машинного обучения для анализа данных и выявления закономерностей и аномалий. Также появляется возможность симулировать различные сценарии и оценивать их влияние на производственные процессы, прогнозирование отказов оборудования и планировать профилактическое обслуживание для минимизации простоев [3].

Другая технология — 3D-моделирование и симуляция — создание трехмерных моделей компонентов, машин и заводов, а также моделирование их работы. 3D-моделирование помогает инженерам визуализировать конечный продукт и процесс его производства, проводить виртуальные испытания и выявлять потенциальные проблемы до начала физического производства.

3D-моделирование и симуляция играют ключевую роль в современном промышленном производстве. Они предлагают множество преимуществ, которые способствуют повышению эффективности, снижению затрат и улучшению качества продукции. Перечислим основные из них [1, 8, 10]:

1. Ускорение процесса разработки продукта. 3D-моделирование позволяет быстро создавать и изменять модели, что ускоряет процесс разработки и тестирования новых продуктов. Возможность визуализировать и анализировать модели на ранних стадиях помогает выявлять и устранять ошибки до стадии производства.
2. Снижение затрат. 3D-модели и симуляции позволяют сократить потребность в дорогостоящих физических прототипах. Симуляции позволяют оптимизировать использование материалов, что снижает затраты на сырье и уменьшает отходы.
3. Улучшение качества продукции. 3D-моделирование и симуляция позволяют точно проверить параметры и характеристики продукции, что улучшает ее качество. Возможность провести множество виртуальных тестов позволяет оптимизировать дизайн для достижения лучших эксплуатационных характеристик.
4. Повышение безопасности. Симуляции могут предсказать, как продукт будет вести себя в различных условиях эксплуатации, что позволяет повысить его безопасность. Возможность проводить испытания в виртуальной среде снижает риск для персонала и оборудования.
5. Повышение эффективности производства. Симуляции позволяют моделировать производственные процессы и оптимизировать их для повышения эффективности и снижения времени цикла. 3D-моделирование позволяет лучше управлять производственными ресурсами, такими как оборудование и рабочая сила.
6. Поддержка принятия решений. 3D-модели и симуляции предоставляют наглядные данные, которые помогают в принятии обоснованных решений на различных этапах разработки и производства. Возможность проводить анализ различных сценариев позволяет оценить последствия различных решений и выбрать оптимальные варианты.
7. Инновации и конкурентоспособность. 3D-моделирование и симуляция способствуют разработке уникальных и инновационных продуктов, что помогает компаниям оставаться конкурентоспособными. Современные методы моделирования и симуляции позволяют значительно сократить время от концепции до готового продукта, что важно в условиях быстро меняющегося рынка [1, 10].

Следовательно, 3D-моделирование и симуляция становятся неотъемлемой частью современной промыш-

ленности, предоставляя компаниям инструменты для повышения эффективности, снижения затрат и улучшения качества продукции.

Кроме цифровых двойников и 3D-моделирования в промышленности могут применяться также программирование и тестирование ПЛК (программируемых логических контроллеров). Этот процесс представляет собой использование симуляторов для разработки и тестирования программного обеспечения ПЛК до его внедрения на реальном оборудовании. Это позволяет сократить время на отладку и снизить риск ошибок, которые могут привести к простоям оборудования [8].

Также следует отметить такое направление использования моделирования в промышленности, как планирование производства и логистики. С помощью инновационных технологий возможно моделирование производственных процессов и цепочек поставок для оптимизации планирования и управления ресурсами. В этом случае компании могут более эффективно планировать производственные графики, улучшать использование ресурсов и минимизировать затраты [7].

Использование моделирования для анализа и оптимизации производственных процессов, включая потоки материалов и энергопотребление позволяет повысить производительность, снизить затраты на энергию и уменьшить количество отходов.

Виртуальные методы контроля и диагностики для обеспечения качества продукции на всех этапах производства включают в себя использование машинного обучения и анализа данных для прогнозирования и предотвращения дефектов [2, 4].

Следует также сказать о таком направлении применения технологий моделирования, как обучение и обеспечение безопасности персонала промышленного предприятия. Так, на заводах все чаще используются виртуальные тренажеры и симуляторы для обучения операторов и технического персонала. Они позволяют персоналу безопасно обучаться работе с оборудованием и отрабатывать действия в аварийных ситуациях, что снижает риск ошибок и повышает общую безопасность на производстве [5].

Таким образом, исследование показало, что виртуальное проектирование и моделирование предоставляют мощные инструменты, которые поддерживают инновации и эффективность в промышленной автоматизации, делая производственные процессы более гибкими, надежными и экономически эффективными. Кроме того, они позволяют обеспечить безопасность персонала, повысить эффективность обучения и стимулировать рост производительности труда работников.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 3D-моделирование: виды, принципы, инструменты // GB. — URL: <https://gb.ru/blog/3d-modelirovanie/?ysclid=lwbmb5fw3i535409481> (дата обращения: 15.05.2024).
2. AR и VR в промышленности. Как иммерсивные технологии помогают заводам // Techinsider. — URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/746603-ar-and-vr-v-promyshlennosti-kak-immersivnye-tehnologii-pomogayut-zavodam/?ysclid=lwbm1266p728084452> (дата обращения: 15.05.2024).
3. Жуковская, И.В. Технология формирования цифрового двойника как драйвер развития цифровой экономики / И.В. Жуковская, М.С. Кузьмин // Микроэкономика. — 2023. — № 6. — С. 71–75. — DOI 10.33917/mic-6.113.2023.71-75.
4. Как системы компьютерного зрения помогают контролировать качество продукции // Tadviser. — URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/%?ysclid=lwbp42p1k6150277474> (дата обращения: 15.05.2024).
5. Комаров, Н.М. Применение технологий искусственного интеллекта в инновационной деятельности промышленных предприятий / Н.М. Комаров, Д.С. Пашенко // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 6. — URL: <https://esj.today/PDF/101ECVN623.pdf> (date of application: 15.05.2024).
6. Комаров, Н.М., Пашенко Д.С. Повышение скорости внедрения инноваций в промышленности в условиях цифровизации // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 2. — URL: <https://esj.today/PDF/68ECVN223.pdf>. (дата обращения: 15.05.2024).
7. Круглов, И.А., Рябчиков П.В. Элементы цифровизации производства для обеспечения контроля качества с применением фото— и видеофиксации // НПО Техномаш. — URL: <https://tmpro.ru/node/633> (дата обращения: 15.05.2024).
8. Плеханова, Е.А. 3D-моделирование в горнодобывающей промышленности // Постулат. — 2022. — № 9(83). — С. 56–59.
9. Сахапова, Т.С. Цифровой двойник производства как этап новой цифровой бизнес-модели промышленного предприятия / Т.С. Сахапова, Т. Ш. Исмагилов, В.А. Тихонов // Горная промышленность. — 2023. — № 2. — С. 62–68. — DOI 10.30686/1609-9192-2023-2-62-68.
10. Шрайбман, М. 3D-моделирование в производстве: как современные технологии меняют облик промышленных компаний // Cmsmagazine. — URL: <https://cmsmagazine.ru/journal/items-3d-modelirovanie-v-proizvodstve-kak-sovremennye/?ysclid=lwbm3tf2cb350501124> (дата обращения: 15.05.2024).

© Гончаров Андрей Витальевич (a.goncharov@mgutm.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ЭРГОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

ERGONOMIC ANALYSIS  
OF A RECOMMENDATION SYSTEM**B. Goryachkin  
R. Nischuk**

*Summary.* The complexity of choosing books from a vast amount of information poses a serious problem for users. The need for an ergonomic analysis of recommendation systems is due to the unsatisfactory user experience in finding the most suitable reading options. Ineffective interaction with the system leads to time loss, insufficient information, and dissatisfaction with the service usage.

The process of selecting books using recommendation systems involves analyzing user data and comparing it with a large amount of book information to choose the most suitable options. This significantly saves user time, optimizes the selection process, and increases satisfaction with the service usage.

Through the example of a recommendation system for book selection, one can see how a balance between technical complexity and users can be achieved through thoughtful design, intuitive controls, and personalized recommendations.

*Keywords:* recommendation system, ergonomics, Django, Big Data.

**Горячкин Борис Сергеевич**

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

**Нищук Роман Сергеевич**

Московский государственный технический  
университет им. Н.Э. Баумана  
gidraaa@inbox.ru

*Аннотация.* Сложность выбора книг из огромного объема информации представляет серьезную проблему для пользователей. Необходимость проведения эргономического анализа рекомендательных систем обусловлена неудовлетворительным опытом пользователей в поиске наиболее подходящих вариантов чтения. Отсутствие эффективного взаимодействия с системой приводит к потере времени, недостаточной информированности и неудовлетворенности от использования сервиса.

Процесс подбора книг с использованием рекомендательных систем включает анализ данных пользователя и их сравнение с большим объемом информации о книгах для выбора наиболее подходящих вариантов. Это значительно экономит время пользователя, оптимизирует процесс выбора и повышает удовлетворенность от использования сервиса.

На примере рекомендательной системы для подбора книг можно увидеть, как баланс между технической сложностью и пользователями может быть достигнут через продуманный дизайн, интуитивное управление и персонализацию предложений.

*Ключевые слова:* рекомендательная система, эргономика, Django, Big Data.

**Введение**

Рекомендательные системы используются практически везде. Наиболее популярными областями для их применения является подбор музыки, товаров для дома, продуктов или фильмов по предпочтениям конкретных пользователей. Тем не менее рекомендательные системы могут использоваться практически в любой области. Система может рекомендовать приложения, новости для прочтения, видео и даже лекарства. От качества этих систем напрямую зависит популярность сервиса: как долго пользователь будет использовать сервис или как много купит в магазине.

Основной задачей, поставленной в данной работе, является изучение и эргономический анализ программного модуля для подбора книг. Рекомендательная система, лежащая в основе модуля, может давать пользователю советы по выбору литературы, которые будут зависеть от активности пользователя и постоянно меняться. [1]

Эргономический анализ данных в контексте рекомендательных систем представляет собой интересную

и актуальную область исследования, требующую внимания с точки зрения практической применимости и развития.

В данной работе будет проведен эргономический анализ автоматизированной рекомендательной системы по подбору книг в формате стандартного Django-приложения, что позволит оценить ее удобство использования и качество предоставляемых рекомендаций. Анализ проведенных исследований позволит определить оптимальные пути развития и улучшения функциональности данной системы, удовлетворяя потребности пользователей в максимальной степени.

**Эргономика в контексте рекомендательных систем**

Методической базой эргономики служит системный подход. На его основе в эргономических исследованиях используются методы различных наук и техники, на стыке которых решаются проблемы изучения системы «человек — предмет — среда». Метод функционального анализа может быть использован при проектировании относительно несложных объектов. Он вскрывает зави-

симось формы, структуры, организации и конструкции объекта от той функции, которую он выполняет. Используется и при проектировании средовых комплексов. [8]

Основные аспекты эргономики для рекомендательных систем включают в себя:

- *Пользовательский интерфейс*: Создание удобного и интуитивно понятного интерфейса, который позволяет пользователям легко взаимодействовать с системой, предоставлять обратную связь и управлять рекомендациями.
- *Персонализация*: учитывать индивидуальные предпочтения, интересы и контекст каждого пользователя для предоставления более точных и релевантных рекомендаций.
- *Прозрачность и объяснимость*: объяснять пользователю принципы работы системы рекомендаций, чтобы он понимал, почему та или иная рекомендация была сделана, и мог доверять системе.
- *Контроль и настройка*: предоставлять пользователям возможность контролировать процесс рекомендаций, например, путем настройки параметров алгоритмов или фильтрации рекомендаций.
- *Управление информационной нагрузкой*: избегать перегрузки пользователей информацией и рекомендациями, предоставляя только наиболее релевантные и полезные рекомендации.

Цель эргономики в контексте рекомендательных систем состоит в создании приятного и продуктивного опыта использования для пользователей, что в конечном итоге способствует повышению удовлетворенности пользователей и эффективности системы. [2]

Для дальнейшего понимания опишем процесс подбора книг с помощью формулы для человека и машины:

#### Человек:

- Просмотр каталога: Время, затраченное на просмотр доступных книг в каталоге.
- Чтение описаний: Время, потраченное на чтение описаний книг для определения их соответствия интересам.
- Принятие решения: Время, потраченное на принятие решения о выборе книги на основе прочитанных описаний и собственных предпочтений.

#### Машина:

- Анализ данных: Время, необходимое для анализа данных о предпочтениях пользователя, истории просмотров, рейтингах книг и т. д.
- Сравнение с базой данных: Время, затраченное на сравнение профиля пользователя с базой данных книг для определения наиболее подходящих рекомендаций.

- Формирование рекомендаций: Время, необходимое для сортировки и фильтрации книг с целью предоставления наиболее релевантных рекомендаций пользователю.

Формула для оценки времени может выглядеть следующим образом:

$$\text{Время подбора} = \text{Время анализа} + \text{Время принятия решения}$$

где:

- Время анализа для человека включает в себя просмотр каталога и чтение описаний книг, а для машины — анализ данных и сравнение с базой данных.
- Время принятия решения для человека — время, потраченное на принятие окончательного решения, а для машины — время формирования рекомендаций.

В анализ информации о книге может входить множество аспектов, включая:

- *Описание книги*: Это текстовое описание содержания книги, которое может содержать краткое изложение сюжета, основные темы, персонажей и другие ключевые моменты.
- *Обложка книги*: Визуальный элемент, который также может оказать влияние на решение пользователя. Обложка может привлечь внимание своим дизайном, цветами, изображениями и т. д.
- *Рейтинги и отзывы*: Рейтинги книги на различных платформах, таких как интернет-магазины или рецензии на сайтах и блогах, могут дать представление о том, насколько книга популярна и понравилась другим читателям. Отзывы также могут содержать полезную информацию о содержании, стиле и качестве книги.
- *Жанр и тематика*: Пользователь может обращать внимание на жанр или тему книги, чтобы определить, соответствует ли она его интересам или текущим настроениям.
- *Цена и доступность*: Цена книги и ее доступность в выбранном формате (бумажная книга, электронная книга и т. д.) также могут влиять на решение пользователя.
- *Автор*: Информация о авторе, его репутация и предыдущие работы могут быть также важными факторами при выборе книги.

Время, необходимое для обработки информации человеческим сознанием, может сильно варьироваться в зависимости от объема информации, сложности задачи, индивидуальных способностей и опыта человека. Рассмотрим несколько примеров с различными объемами информации: [4]

- *Небольшой объем информации (несколько книг):*

Если человеку предстоит выбрать книгу из небольшого набора, состоящего из, скажем, 5-10 книг, то время на обработку информации может быть относительно небольшим. В этом случае процесс выбора книги может занять от нескольких минут до 10-15 минут в зависимости от внимательности и скорости принятия решений человека.

- *Средний объем информации (десятки книг):*

Если доступен более крупный набор книг, например, от 20 до 50 книг, то время на обработку информации увеличится. Человеку потребуется больше времени на просмотр обложек, чтение описаний и анализ отзывов. В этом случае процесс выбора книги может занять от 20 минут до часа или более, в зависимости от того, насколько детально человек изучает каждую книгу.

- *Большой объем информации (сотни книг):*

Если доступен очень большой каталог книг, содержащий сотни или даже тысячи позиций, время на обработку информации значительно возрастет. В этом случае человек может потребовать нескольких часов или даже дней на анализ каталога, чтение описаний и принятие решения. Некоторые люди могут использовать различные стратегии, такие как фильтрация по жанрам или авторам, чтобы сократить время на выбор.

Таким образом, суммарное время подбора книги для среднестатистического пользователя при малом объеме информации может быть приблизительно:

Для того, чтобы приблизительно узнать суммарное время подбора книги для среднестатистического пользователя при малом объеме информации проведем экспериментальный опрос 10 добровольцев на малом наборе данных из 10 классических книг русской литературы:

- «Преступление и наказание» — Федор Достоевский
- «Война и мир» — Лев Толстой
- «Мастер и Маргарита» — Михаил Булгаков
- «Евгений Онегин» — Александр Пушкин
- «Анна Каренина» — Лев Толстой
- «Братья Карамазовы» — Федор Достоевский
- «Доктор Живаго» — Борис Пастернак
- «Отцы и дети» — Иван Тургенев
- «А зори здесь тихие...» — Борис Васильев
- «Тихий Дон» — Михаил Шолохов

Ход проведения эксперимента выглядит следующим образом: Проведение эксперимента:

1. Каждый доброволец будет иметь доступ к списку книг.

2. Дадим каждому добровольцу случайную книгу из списка и попросим их проанализировать информацию о книге.
3. Когда они закончат анализ, попросим их принять решение: стоит ли рекомендовать эту книгу кому-то или нет.
4. Измерим время, затраченное каждым добровольцем на анализ и принятие решения.

Измерения времени [в секундах]:

$t_{ан}$  — время анализа набора данных из 10 книг  
 $t_{реш}$  — время принятия решения о рекомендации

Результаты опроса приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Результаты экспериментального опроса

Добр.	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
$t_{ан}$	330	612	1128	642	546	726	540	864	468	792
$t_{реш}$	108	234	156	138	54	45	192	162	114	72

Среднее значение  $t_{ан} = 7048 / 10 = 704.8 \approx 11,75$  минут

Среднее значение  $t_{реш} = 1165 / 10 = 116.5 \approx 1,94$  минуты

В данной работе мы постараемся значительно уменьшить экспериментально измеренное приблизительное время на подбор подходящей книги, при том, что мы используем для анализа малый набор книг из 10 позиций, а рекомендательная система будет анализировать датасет из 6810 книг.

**Аналитическая оценка времени выполнения блоков кода рекомендательной системы**

Для начала следует разобраться в том, как именно работает рекомендательная система. Приведем схему работы модулей системы по отдельности и распишем что происходит в каждом из блоков кода, подлежащих анализу рис. 1:

При запуске веб-приложения Django происходит следующий порядок обращения к файлам:

- **`apps.py`**: Файл `apps.py` содержит классы приложений Django. Django автоматически обнаруживает приложения, указанные в этом файле, и регистрирует их в проекте.
- **`models.py`**: Файл `models.py` содержит описания моделей данных приложения. Модели определяют структуру данных, которые будут использоваться в приложении, и обеспечивают взаимодействие с базой данных.
- **`admin.py`**: Файл `admin.py` содержит настройки административного интерфейса Django. Здесь



Рис. 1. Последовательность блоков кода Django-приложения

определяются модели, которые должны быть доступны в админ-панели, а также их настройки.

- **`views.py`**: Файл `views.py` содержит функции или классы представлений Django. Представления определяют логику обработки запросов и возвращают ответы на эти запросы. Они связываются с URL-шаблонами для определения, какой код должен быть выполнен при обращении к определенному URL.
- **`forms.py`**: Файл `forms.py` содержит определения форм Django. Формы используются для ввода данных пользователем и их валидации перед сохранением.
- **`urls.py`**: Файл `urls.py` содержит определения URL-шаблонов Django. URL-шаблоны связывают определенные URL с соответствующими представлениями, определенными в файле `views.py`.

- **`tests.py`**: Файл `tests.py` содержит модули тестирования Django. Здесь определяются тесты, которые проверяют правильность работы приложения. [3]

Для оценки времени выполнения каждого из приведённых блоков кода можно использовать адаптированную формулу, учитывающую размер набора данных и другие факторы:

$$T(n) = e^{a*n} * b * c * d$$

Где:

- $T(n)$  — время выполнения рекомендательной системы в зависимости от размера набора данных или других факторов.
- $n$  — размер набора данных, например, количество пользователей и элементов для рекомендации.
- $a$  — коэффициент, который определяет экспоненциальную зависимость времени выполнения системы от размера набора данных.
- $e$  — база натуральных логарифмов (постоянная Эйлера).
- $b$  — множитель, представляющий базовое время выполнения системы для небольших наборов данных.
- $c$  — дополнительный множитель, учитывающий специфические аспекты алгоритма рекомендации, такие как сложность вычислений или используемые модели.
- $d$  — дополнительный множитель, который показывает мощность конфигурации системы, на которой запускается обработка набора данных.

Следует объяснить почему именно выбрана экспоненциальная зависимость. Сделано это по следующим причинам:

- **Экспоненциальный рост данных**: Когда размер набора данных ( $n$ ) увеличивается, время выполнения рекомендательной системы может расти экспоненциально. Это связано с увеличением вычислительной сложности алгоритмов и операций обработки данных.
- **Увеличение вычислительной нагрузки**: С увеличением объема данных система должна обрабатывать больше информации, выполнять больше вычислений и операций. Это может привести к экспоненциальному росту времени выполнения.
- **Сложность алгоритмов**: Некоторые алгоритмы, используемые в рекомендательных системах, могут иметь высокую вычислительную сложность, особенно при увеличении размера данных. Это может вызывать экспоненциальный рост времени выполнения с увеличением размера набора данных.

- **Увеличение количества операций:** При обработке больших объемов данных требуется выполнение большего количества операций, таких как сравнения, вычисления сходства между элементами, что может привести к экспоненциальному увеличению времени выполнения. [5]

Перейдём к расчётам относительного времени выполнения каждого блока кода в стандартном Django-приложении на основе представленной формулы:

$$T(n) = e^{a*n} * b * c * d$$

$n = 6810$  (количество книг в наборе данных)

1. `apps.py`: Время выполнения кода в файле `apps.py`, представляющего конфигурацию Django-приложения, может быть относительно небольшим, так как это обычно простой файл с настройками.

Пусть  $(a = 0.0001), (b = 0.1), (c = 2), (d = 1)$ .

2. `models.py`: Время выполнения кода в файле `models.py`, где определяются модели данных приложения, может зависеть от сложности моделей и количества полей.

Пусть  $(a = 0.0005), (b = 0.2), (c = 3), (d = 1)$ .

3. `admin.py`: Файл `admin.py`, содержащий настройки административного интерфейса Django, обычно не требует значительного времени выполнения.

Пусть  $(a = 0.00005), (b = 0.05), (c = 1.5), (d = 1)$ .

4. `views.py`: Время выполнения кода в файле `views.py`, где определены представления (`views`) для обработки запросов, может зависеть от сложности логики обработки запросов и количества представлений.

Пусть  $(a = 0.0008), (b = 0.3), (c = 4), (d = 1)$ .

5. `forms.py`: Файл `forms.py`, где определяются формы для взаимодействия с пользователем, обычно не требует значительного времени выполнения.

Пусть  $(a = 0.00006), (b = 0.06), (c = 1.2), (d = 1)$ .

6. `urls.py`: Время выполнения кода в файле `urls.py`, где определяются маршруты URL для приложения, может быть относительно небольшим, особенно для небольших проектов.

Пусть  $(a = 0.00003), (b = 0.03), (c = 1.1), (d = 1)$ .

7. `tests.py`: Время выполнения кода в файле `tests.py`, где определяются тесты для проверки функциональности приложения, может быть значительным в зависи-

мости от количества и сложности тестов. Так как здесь используется параллельная обработка значение коэффициента  $d = 2$ .

Пусть  $(a = 0.001), (b = 0.4), (c = 5), (d = 2)$ . [6]

Проведём расчёты:

$$T_{apps.py} = e^{0.0001*6810} * 0,1 * 2 * 1 \approx 1,976 * 0,1 * 2 \approx 0,3952$$

$$T_{models.py} = e^{0.0005*6810} * 0,2 * 3 * 1 \approx$$

$$\approx 30,114 * 0,2 * 3 \approx 18,0684$$

$$T_{admin.py} = e^{0.00005*6810} * 0,05 * 1,5 * 1 \approx$$

$$\approx 1,405 * 0,05 * 1,5 \approx 0,1054$$

$$T_{views.py} = e^{0.0008*6810} * 0,3 * 4 * 1 \approx$$

$$\approx 231,735 * 0,3 * 4 \approx 277,682$$

$$T_{forms.py} = e^{0.00006*6810} * 0,06 * 1,2 * 1 \approx$$

$$\approx 1,504 * 0,06 * 1,2 \approx 0,1083$$

$$T_{urls.py} = e^{0.00003*6810} * 0,03 * 1,1 * 1 \approx$$

$$\approx 1,226 * 0,03 * 1,1 \approx 0,0402$$

$$T_{tests.py} = e^{0.001*6810} * 0,4 * 5 * 2 \approx$$

$$\approx 900,139 * 0,4 * 5 * 2 \approx 3600,556$$

Все полученные результаты получены в относительных величинах времени, для сравнения времени выполнения [7]

Занесём полученные результаты в табл. 2 для дальнейшего удобства:

Таблица 2.

Результаты теоретических вычислений времени выполнения блоков кода

	apps.py	models.py	admin.py	views.py	forms.py	urls.py	tests.py
T(n)	0,3952	18,0684	0,1054	277,682	0,1083	0,0402	3600,556

Далее проведём экспериментальную проверку полученных значений с помощью измерений времени выполнения каждого блока кода напрямую:

Измерение времени выполнения блоков кода:  
import time

# Начало измерения времени  
start\_time = time.time()

# блок кода, время выполнения которого нужно измерить  
# ...

# Конец измерения времени  
end\_time = time.time()

# Вычисление общего времени выполнения  
execution\_time = end\_time — start\_time

print(f»Время выполнения: {execution\_time} секунд»)

Полученные значения [в секундах]: apps.py: 0.00289946516192

models.py: 1.00702908464  
 admin.py: 0.00064548183  
 views.py: 1.207333592  
 forms.py: 0.00057923568  
 urls.py: 0.0003320199  
 tests.py: 48.0042411188

Вычисленные значения приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Вычисленные значения времени выполнения блоков кода

Значения	apps.py	models.py	admin.py	views.py	forms.py	urls.py	tests.py
Анализ	0,3952	18,0684	0,1054	277,682	0,1083	0,0402	3600,556
Эксперимент	0.00289	1.0070	0.00064	1.2073	0.00057	0.00033	48.00424

Для наглядности приведём доли времени выполнения блоков кода в табл. 4.

Таблица 4.

Вычисленные доли времени выполнения блоков кода

Доли	apps.py	models.py	admin.py	views.py	forms.py	urls.py	tests.py
Анализ	0.000109	0.00501	0.00002	0.07709	0.00003	0.00001	1.000
Эксперимент	0.00006	0.02097	0.00001	0.07297	0.00001	0.000006	1.000

Эксперимент подтверждает аналитическое предположение и приведённую ранее формулу. Безусловно, конкретные доли и значения отличаются от проведённого анализа, но общая картина остаётся всё той же. Наибольшее время занимает выполнение tests.py и views.py.

Таким образом, получаем наглядную картину того, что наибольшее время выполнения приходится на блок тестирования и визуализации. Блок тестирования является необходимым только на этапе разработки, поэтому напрямую пользователя не затрагивает. Это означает что при грамотной наладке приложения данный блок кода не будет влиять на время выполнения пользовательского запроса.

Вопрос же визуальной составляющей целиком и полностью ложится на мощности компьютера пользователя, сервер разработчика и требования дизайнерского решения к конфигурации компьютерной системы.

### Эргономический анализ пользовательского интерфейса

Эргономическое обеспечение проектирования означает установление оптимальных требований и соз-

дание подходящих свойств системы «человек — предмет» на всех этапах её разработки и использования. Это включает в себя не только рассмотрение взаимодействия между человеком и предметом, но также влияние окружающей среды на этот процесс. Главная цель эргономического проектирования заключается в том, чтобы сделать изделия максимально эффективными при минимальном использовании ресурсов человека. Это включает в себя оптимизацию условий труда, уменьшение рисков для здоровья и безопасности человека, а также повышение удовлетворенности пользователей. [8]

В рамках этой концепции эргономическое проектирование также стремится учитывать различные особенности пользователей, такие как пол, возраст, физические и когнитивные способности. Например, изготовление предметов с учётом различий в организме мужчин и женщин, а также удобство использования для людей разных возрастных групп.

Основной задачей эргономического анализа данных является выявление факторов, влияющих на удобство, безопасность и эффективность использования продуктов, систем и услуг. Это может включать в себя анализ психофизиологических реакций пользователей, оценку эффективности дизайна, а также оценку уровня комфорта. [9]

В данном разделе попытаемся максимально оптимизировать время работы с рекомендательной системой человеком-оператором, в нашем случае обозначим его как пользователя.

В ходе поиска нужной книги для её дальнейшего анализа (прочтения описания, просмотра обложки и т.д.) человек выполняет ряд типовых действий:

1. Нажатие клавиши компьютерной мышки;
2. Перемещение курсора компьютерной мышки;
3. Набор текста с помощью клавиатуры.

Каждое из перечисленных действий состоит из времени его выполнения и времени реакции человека и системного времени.

Для возможности дальнейших подсчётов зададим ограничения среды:

- Время нажатия клавиши мышки составляет 180 мс
- Средняя скорость печати составляет 330 знаков в минуту
- DPI мышки = 1600 (9)
- Скорость перемещения мыши по столу = 2 см/с
- Задержка перед выполнением задания (a) = 0;
- Коэффициент скорости принятия решения (b) = 0,155;
- Время открытия всплывающего окна — 0,5 с.
- Начальное положение курсора находится в центре экрана.

На основе измеренной скорости движения мышки по столу, можно рассчитать скорость ее курсора по формуле. [10]

$$DPI = 1600,$$

$$Rh = 1080,$$

$$V_{\text{ср.к}} = 2 \text{ см/с},$$

$$H = 10,79 \text{ д}$$

$$V_{\text{ср.к}} = \frac{DPI * V_{\text{ср.с}} * H}{R_h} = \frac{1600 * 2 * 10,79}{1080} = 32 \frac{\text{см}}{\text{с}}$$

Закон Хика, также известный как закон Хика-Хирша, представляет собой эмпирическое правило, описывающее время принятия решения человеком в зависимости от количества вариантов или альтернатив, из которых ему нужно выбрать. Этот закон был предложен экономистами Р. Дунканом Лэном и Албертом Кайнаном Хиком в 1952 году.

Формула закона Хика имеет вид:

$$T_x = a + b \log_2(n + 1),$$

где:

- $(T_x)$  — время принятия решения (время реакции),
- $(a)$  — фиксированное время, не связанное с принятием решений,
- $(b)$  — эмпирическая константа, основанная на времени когнитивного процесса для каждого варианта,
- $(n)$  — количество альтернативных стимулов (вариантов выбора).

Суть закона Хика заключается в том, что время принятия решения увеличивается нелинейно с увеличением количества вариантов. Это связано с тем, что с увеличением числа вариантов происходит увеличение когнитивной нагрузки на человека, что замедляет процесс принятия решения. [7]

Основные черты закона Хика и обоснование константы:

- **Нелинейность:** Время принятия решения не увеличивается пропорционально количеству вариантов, а возрастает нелинейно.
- **Логарифмическая зависимость:** Закон Хика основан на логарифмической зависимости времени принятия решения от количества вариантов.
- **Эмпирическая константа (b):** Эта константа отражает время когнитивного процесса, необходимого для обработки каждого варианта.

Теоретическое время при 2 параметрах  $a$  и  $b$  соответственно:

$$T_x = 0,25c$$

Рассмотрим случай, когда кнопка создания нового элемента находится в верхней части экрана, а список занимает центральную часть экрана. Курсор мышки находится в центре списка.

Закон Фиттса, также известный как закон Фиттса-Шнайдермана, описывает зависимость времени, необходимого для точного движения курсора или указателя (например, мыши), от размера и расстояния до цели. Этот закон был разработан психологом Полом Фиттсом в 1954 году и позднее доработан в соавторстве с Джоном Шнайдерманом. [7]

Формула данного закона выглядит вот так:

$$T_{\Phi} = a + b \log_2 \left( \frac{D}{W} + 1 \right),$$

где

- $(T_D)$  — время движения курсора,
- $(D)$  — расстояние до цели,
- $(W)$  — ширина цели,
- $(a)$  и  $(b)$  — эмпирические константы.

Основные положения закона Фиттса:

- **Время движения зависит от расстояния до цели и её размера:** Чем дальше и меньше цель, тем больше времени потребуется для выполнения движения курсора к ней.
- **Логарифмическая зависимость:** Время движения руки к цели в законе Фиттса зависит логарифмически от отношения расстояния до цели к её размеру. Это означает, что увеличение расстояния до цели или уменьшение её размера приводит к увеличению времени движения, но нелинейно.
- **Эмпирические константы (a) и (b):** Эти константы зависят от конкретных условий исследования, таких как характеристики пользователей, интерфейсные особенности и т. д.

Закон Фиттса широко используется в интерфейсном дизайне, особенно в разработке пользовательских интерфейсов компьютерных программ, мобильных приложений, веб-сайтов и других интерактивных систем. Он помогает оптимизировать размеры и размещение элементов интерфейса, чтобы обеспечить удобство и эффективность взаимодействия пользователя с системой. [7]

Чтобы минимизировать расстояние от центра списка до кнопки создания, нужно иметь:

- Margin\_кнопки насколько возможно меньше
- Width\_кнопки насколько возможно больше

Где Margin\_кнопки — отступ кнопки от списка, Width\_кнопки — ширина кнопки. [11]

Возьмем высоту элемента списка равную  $Width\_экрана = 1980\text{ px}$ ,  $Height\_экрана = 1080\text{ px}$ , ширину кнопки  $Width\_кнопки = 250\text{ px}$  и  $Height\_кнопки = 60\text{ px}$ ,  $Margin_{кнопки} = 0$ . Тогда расстояние от курсора в момент начала движения до целевого элемента управления будет в среднем

Расстояние от кнопки до центра списка по горизонтали:

$$x_1 = \frac{Width_{экрана}}{2} - X_{кнопки} - Width_{кнопки} = 600\text{ px}$$

Расстояние от кнопки до центра списка по вертикали:

$$x_2 = \frac{Height_{списка}}{2} + Margin_{кнопки} = 500\text{ px}$$

$$D = \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$$

$$D \approx 782\text{ px}$$

Теоретическое время при  $a = 0$ ,  $b = 0.155$ :

$$T_{\phi} = 0.442\text{ c}$$

Итоговое теоретическое время выполнения действия:

$$T_{\text{мд}} = T_{\phi} + T_x + T_{\text{нкм}} = 0,25 + 0,442 + 0,18 = 0,872\text{ c.}$$

На практике процесс поиска одной книги (Harry Potter) и добавления её в избранное будет выглядеть следующим образом:

Время выполнения действия поиска и добавления в избранное для книги приведено в табл. 5:

Таблица 5.

Время выполнения действия поиска и добавления в избранное для книги

№	Событие	Время, с
1	Перемещение курсора на 8 см	$0,031 \cdot 8 = 0,248$
2	Нажатие кнопки мыши	0,18
3	Время восприятия человека	0,15
4	Нажатие кнопки мыши	0,18
5	Время восприятия человека	0,15
6	Ввод 13 символов	$0,29 \cdot 13 = 3,77$
7	Перемещение курсора на 2 см	$0,031 \cdot 2 = 0,062$
8	Нажатие кнопки мыши	0,18
9	Время восприятия человеком	0,15
10	Перемещение курсора на 1 см	0,031
11	Нажатие кнопки мыши	0,18
12	Перемещение курсора на 4 см	$0,031 \cdot 4 = 0,124$
13	Нажатие кнопки мыши	0,18
#	Итого	5,585

Суммарное время выполнения действия составит:

$$5,585 + 0,872 = 6,457\text{ c}$$

Таким образом, наибольшее время занимает работа человека-оператора с клавиатурой. Для того, чтобы уменьшить данное время, необходимо добавить всплывающие подсказки при наборе, которые будут эффективно ускорять этот процесс.

Такое эргономическое решение позволит сокращать время по 0,29 секунды за каждый сэкономленный подсказкой символ и упростит взаимодействие пользователя с системой.

### Заключение

Основная задача данного исследования заключалась в изучении и эргономическом анализе программного модуля для подбора книг. Рекомендательная система, на которой основан данный модуль, предлагает пользователю индивидуализированные рекомендации, учитывая его активность и предпочтения. Эргономический анализ в контексте рекомендательных систем является важной областью исследования, поскольку оценивает удобство использования и качество предоставляемых рекомендаций. Он направлен на обеспечение максимальной удовлетворенности пользователей и оптимизацию работы системы.

Результаты эксперимента подтверждают аналитические предположения и формулы, использованные для оценки производительности системы. Наибольшее время выполнения приходится на блок тестирования и визуализации, что требует дополнительного внимания и оптимизации на этапе разработки. При наличии грамотной настройки приложения блок тестирования не будет существенно влиять на время выполнения пользовательских запросов. Однако визуальная составляющая системы зависит от мощности компьютера пользователя и сервера разработчика, а также требований к дизайну системы.

В заключительной части был проведён эргономический анализ пользовательского интерфейса и найдено наиболее затратное по времени место для пользователя, а также предложено решение по устранению данной недоработки.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Tejada-Lorente Á., Porcel C., Peis E., Sanz R., Herrera-Viedma E. A quality based recommender system to disseminate information in a university digital library // Inf. Sci. 261, 2014.
2. Григорьев Ю.А., Ревунков Г.И. Г 82 Банки данных: Учеб. для вузов. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 320 с.
3. Документация Django, <https://docs.djangoproject.com/en/3.0/>, дата обращения 15.01.2024
4. Burke R. Hybrid web recommender systems // The adaptive web / Lecture Notes In Computer Science. 2007. V. 4321.
5. Гапанюк Ю.Е. Конспект лекций по спецкурсу «Гибридные интеллектуальные информационные системы на основе метаграфового подхода»: Учебно-методическое пособие. — М.: Издательство «Спутник +», 2018. — 53с., ил
6. Программное приложение для определения наилучших условий человеко-компьютерного взаимодействия с использованием законов Фиттса и Хика. Попов А.А. 2016 г. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmnoe-prilozhenie-dlya-opredeleniya-nailuchshih-usloviy-cheloveko-kompyuternogo-vzaimodeystviya-s-ispolzovaniem-zakonov-fittsa> (дата обращения: 28.02.2024). — Текст: электронный.
7. Reza Abbasi-Kesbi, Hamidreza Memarzadeh-Tehran — Technique to estimate human reaction time based on visual perception — 2017 Apr 21 URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5408555/> (дата обращения: 25.01.2024). — Текст: электронный.
8. Горячкин Б.С. Эргономический анализ систем обработки информации и управления // Интернет-журнал Науковедение. — 2017. — Т. 9. — №. 3
9. Время реакции человека URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/007/002.htm> (дата обращения: 23.01.2024). — Текст: электронный.
10. Все о DPI у компьютерной мышки: что это и зачем нужна? А. Андреев 2.05.2019 URL: <https://infotechnica.ru/vse-chto-podklyuchaetsya-k-kompyuteru-o-myshkah/vse-o-dpi/> (дата обращения: 21.01.2024). — Текст: электронный.
11. Melville P., Mooney R.J., Nagarajan R. Content-boosted collaborative filtering for improved recommendations // 8th national conf. on Artificial intelligence. Menlo Park, CA, USA, 2002.

---

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Нищук Роман Сергеевич (gidraaa@inbox.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГУЛИРУЮЩИХ РАБОТУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ

## ANALYSIS OF REGULATORY DOCUMENTS GOVERNING THE OPERATION OF THE INTELLIGENT CONTROL LOOP

**B. Goryachkin  
K. Grishin**

*Summary. Problem Statement.* The prospect of using artificial intelligence (hereinafter AI) in the control loop opens up a horizon of opportunities to increase and improve various parameters in the human labor process, starting from the optimization of routine, monotonous tasks and ending with auxiliary actions (up to the implementation of an analytical intelligent assistant). The analysis of the normative component shows the absence of a common standard regulating the intellectual control loop, as well as the absence of a definition as such. In this article we consider and formulate definitions of the management decision, intellectual control loop (hereinafter referred to as ICL), its constituent elements, as well as analyze normative and technical standards regulating their work.

*Purpose.* To consider the provisions of the subject area based on the analysis of normative-technical standards, documents related to the regulation of the area of the control loop in conjunction with the AI.

*Results.* The normative-technical standards, documents related to the regulation of the control loop area in conjunction with AI are analyzed. The concepts of managerial decision, intellectual control loop, as well as its separate elements are formulated, which will allow to formulate theoretical and normative-technical provisions more precisely.

*Practical significance.* The presented information in the form of the scheme and table of the «external» layer of the ICL in the future can be used as a source for the creation of a full-fledged standard regulating the intellectual control loop.

*Keywords:* intelligent control loop, artificial intelligence, ergatic system, human-machine system, managerial decision, object and subject of managerial decision, human limitations when working in the control loop, outer layer of the intelligent control loop, standards analysis.

**Горячкин Борис Сергеевич**

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

**Гришин Кирилл Павлович**

аспирант, Московский государственный  
технический университет им. Н.Э. Баумана  
kirillgrish2014@yandex.ru

*Аннотация. Постановка проблемы.* Перспективность использования искусственного интеллекта (далее ИИ) в контуре управления открывает горизонт возможностей по улучшению различных параметров в трудовом процессе человека, начиная от оптимизации рутинных, монотонных задач и заканчивая вспомогательными действиями (вплоть до реализации аналитического интеллектуального помощника). Анализ нормативной составляющей показывает отсутствие общего стандарта, регулирующего интеллектуальный контур управления, равно как и отсутствие определения как такового. В данной статье рассматриваются и формулируются определения управленческого решения, интеллектуального контура управления (далее ИКУ), его составляющие элементы, а также выполняется анализ нормативно-технических стандартов, регулирующих их работу.

*Цель.* Рассмотреть положения предметной области, исходя из анализа нормативно-технических стандартов, документов, связанных с регулированием области контура управления в связке с ИИ.

*Результаты.* Проанализированы нормативно-технические стандарты, документы, связанные с регулированием области контура управления в связке с ИИ. Сформулированы понятия управленческого решения, интеллектуального контура управления, а также его отдельных элементов, позволяя точнее формулировать теоретические и нормативно-технические положения.

*Практическая значимость.* Представленную информацию в виде схемы и таблицы «внешнего» слоя ИКУ в перспективе возможно использовать в качестве источника для создания полноценного стандарта, регулирующего интеллектуальный контур управления.

*Ключевые слова:* интеллектуальный контур управления, искусственный интеллект, эргатическая система, система «человек — машина», управленческое решение, объект и субъект управленческого решения, человеческие ограничения при работе в контуре управления, внешний слой интеллектуального контура управления, анализ стандартов.

### Введение

За последнее время научно-технический прогресс привнес достаточное количество технологических инструментов, способствующих повышению эффективности как в самом «функциональном» процессе производства (например, внедрение инновационных

технических решений в выпуск продукции), так и с точки зрения управления, принятия решений. Повсеместно наблюдается тенденция по интеграции различных информационных технологий в производственные, управленческие процессы. В частности, подобной информационной технологией выступает ИИ в контексте контура управления. С точки зрения государственного регули-

рования, приняты различные международные и национальные стандарты, обеспечивающие надлежащую работоспособность контура управления, его отдельных частей, а также документы, отражающие национальные интересы, которые будут рассмотрены ниже. Однако общая составляющая сущности ИКУ остается нераскрытой.

### Эргатическая система и ИИ

Обращаясь к истории, опыту прошлых лет, отчетливо прослеживается тенденция в совершенствовании технологий, с которыми работает человек. Способствовавший научно-технический прогресс обозначил траекторию развития в пользу антропоцентричного подхода, уход же от техноцентричного, где технические ограничения требовали от человека иного подхода при работе с оборудованием на мануфактуре, устройствами были повсеместно распространены. То есть, современная действительность направлена на удобство, «правильное» (равно как эффективное) конструирование тех или иных средств, устройств, с которыми взаимодействует человек в различных сферах деятельности.

В свою очередь системой, в которой фигурирует человек или группа людей и какого-либо рода машина (техническое устройство), предназначенная для выполнения деятельности именуется эргатической или системой «человек — машина» [12] (рис. 1):

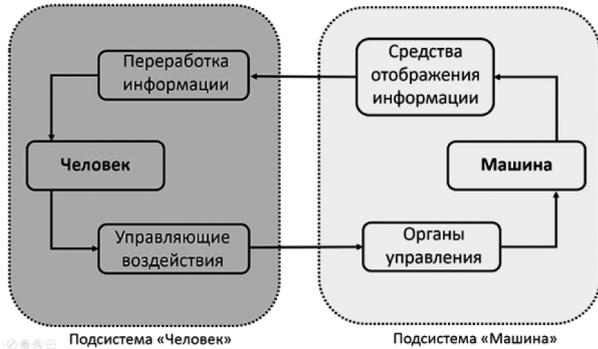


Рис. 1. Взаимосвязь системы «человек-машина»

В контексте эргатической системы, в роли машины способно выступать как технологическое производственное оборудование, так и электронно-вычислительная машина (компьютер), при наличии органов управления (клавиатуры, мыши и т.п.), средств отображения информации (монитор, графический интерфейс программного обеспечения и т.д.).

Подобная структура, а именно взаимодействие человека, выполняющего заданные трудовые функции и машины, с которой он взаимодействует для успешного выполнения функций труда в свою очередь способно трансформироваться в контур управления — систему, в которой обозначены «границы регулирования работы объекта управления» [13].

Отсюда следует понятие управленческого решения т.е. волевого акта субъекта управления, в результате которого делается выбор вида и способа коррекции определенных условий и обстоятельств, осуществляемый с целью сформировать определенную модель поведения человека (людей), включаемого в управленческие отношения.

Субъект управленческого решения может быть представлен отдельным человеком, группой людей или агентом, иницирующим выработку, принятие, организацию исполнения управленческого решения и характеризуемых определенным статусом (совокупностью прав и обязанностей) и рангом. В качестве агента может выступать в том числе и искусственный интеллект (далее ИИ), то есть субъектом управления для нашего случая выступает либо человеческая, либо интеллектуальная компонента информационной системы.

Объект управленческого решения — управляемые, подчиненные, исполняющие управленческое решение и те, на кого направлено управленческое решение, чьи потребности оно удовлетворяет, а объектом управления является смоделированный в воспринимаемом полезном информационном поле реальный объект рассматриваемой предметной области.

Сущность управленческого решения контура управления, снабженного ИИ проявляется в трех аспектах:

- в правовом, а, именно, в необходимости нормирования, институционализации управленческого решения с учетом принятых этических и юридических норм. Правовыми основами выработки, принятия, организации исполнения управленческого решения являются регламентные и нормативные документы, регулирующие деятельность контура управления;
- в организационном, а, именно, в подготовке и реализации управленческого решения, предполагающем конкретизацию проблем; постановку ориентированных целей и задач; определение принципов и правил, функций и этапов, а также механизмов (рычагов) воздействия и реализации;
- в системном, а, именно, во взаимодействии субъекта и объекта управления, что позволяет дифференцировать систему внутренних и внешних, прямых и обратных связей элементов управляющей и управляемой систем.

Если говорить о способе принятия решения, то целесообразно его принятие на основании результатов, полученных методами математической статистики при обработке существующих данных. Этот вариант подходит как для принятия решения человеком оператором, так и для перекладывания этой функции на интеллектуальный компонент. Однако данный подход требует большой

объем статистических данных (большой объем обучающей выборки для подсистемы ИИ), которые теряют актуальность при изменении тех или иных процессов.

Другим наиболее эффективным способом можно назвать принятие управленческого решения посредством математического моделирования исследуемого процесса, а, именно, разработка математических моделей деятельности человека, функционирующего в контуре управления. Помимо этого, преимуществом данного способа является возможность адаптации модели к текущим условиям без существенных затрат.

Таким образом, общую схему принятия управленческих решений можно представить следующим образом:

1. Выявление, анализ, диагностика проблемы.
2. Формулирование целей и задач решения проблемы с учетом существующих ограничений.
3. Формализация задачи, построение математической модели.
4. Анализ способов решения проблемы и разработка алгоритма решения.
5. Выбор критериев оптимальности. Моделирование вариантов сценариев, оценка результатов и последствий реализации разных вариантов.
6. Выбор наиболее оптимального варианта с его обоснованием.
7. Принятие управленческого решения.

Функционирование интеллектуального коммуниканта по вышеприведенному алгоритму (сценарию) требует более детальной проработки методов и способов каждого этапа, начиная с третьего. Однако понятно, что как управленческая функция контура управления, так и процесс восприятия информации, который можно считать отправной точкой управляющих действий, во многом определяется коннекционизмом, моделирующим мыслительные или поведенческие явления процессами становления в сетях из связанных между собой простых элементов и использующим нейросетевые модели.

В связи с повсеместным внедрением искусственного интеллекта (далее ИИ) в рабочие процессы, представляется возможным вести речь о контуре управления снабженным ИИ. Под последним в свою очередь понимается «способность технической системы имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных практически значимых задач обработки данных результаты, сопоставимые, как минимум, с результатами интеллектуальной деятельности человека». [8].

Для полноты и более точного отражения специфики контура управления во взаимосвязи с ИИ необходимо выявить её ключевые требования, основные элементы,

фигурирующие в ней. К требованиям (ограничениям) при проектировании контура управления следует отнести как технические аспекты, так и человеческие. В контексте данной системы подобные требования представлены списке далее:

Таблица 1.

Человеческие ограничения при работе в КУ

№	Вид ограничений	Суть ограничений
1	Физиологические	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в энергии;</li> <li>• в силе;</li> <li>• в выносливости и способности поддерживать гомеостаз при неблагоприятных условиях</li> </ul>
2	Психологические	<ul style="list-style-type: none"> <li>• к способности к обучению;</li> <li>• к способности высококвалифицированно выполнять работу;</li> <li>• терпимость неблагоприятных условий</li> </ul>
3	Антропометрические	<ul style="list-style-type: none"> <li>• в требованиях к рабочему положению;</li> <li>• в требованиях к размеру и форме рабочей одежды</li> </ul>
4	Пищевые	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вызванные необходимостью поддержания соответствующего уровня потребления пищи и воды;</li> <li>• вызванные необходимостью удаления из организма продуктов переработки пищи</li> </ul>
5	Клинические	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вызванные состоянием здоровья;</li> <li>• наличие заболеваний;</li> <li>• возрастные особенности</li> </ul>

Ограничения, предъявляемые к машинной составляющей приведены ниже:

- непригодность проекта изготовления системы;
- непригодность конструкции;
- непригодность материалов, используемых при сборке

Более детальные ограничения и требования могут быть отражены в техническом задании на создание автоматизированной системы [4].

Таким образом, в контуре управления человек в роли коммуниканта фактически создал (породил) другой и теперь стоит вопрос о том, каким образом поделить функции внутри подобной системы. Причем влияние машинной компоненты неумолимо расширяется и усиливается, учитывая сегодняшний вектор развития информационных технологий, направленный на создание ИИ, в том числе машинного обучения. Основные успехи ИИ прежде всего зависят от алгоритмов обучения и, в частности, от алгоритмов глубокого обучения. Их результаты в значительной степени обусловлены теми данными, которыми они снабжаются. Тот факт, что дизайн набора данных имеет решающее значение для возвращаемых результатов, был четко подтвержден. Иными словами,

интеллект этих алгоритмов сильно зависит от наборов данных, используемых для обучения, которые должны быть полными, недвусмысленными и справедливыми. Они являются внешними по отношению к системе и должны быть тщательно подготовлены. При детальном рассмотрении становится очевидно, что, хотя производительность ИИ в определенных областях может превосходить человеческую, применяемые механизмы и алгоритмы не обязательно напоминают человеческий интеллект и методологию, поскольку могут даже не включать в себя какой-либо вид познания. Кроме того, алгоритмы ИИ зависят от конкретного приложения, и их перенос в другие области не является простым.

Так или иначе, ИИ является производной деятельностью человека, тем самым формируя тот или иной аспект обучения. Рассматривая высокоуровневый процесс работы машинного обучения, его можно представить следующим образом:

- Данные обучения собираются и помечаются — ввод.
- Модели построены, обучены и оценены.
- Генерируются прогнозы — вывод.

Таким образом, человек является иницирующей стороной по выбору источников данных (входных данных), определению метрики оценок и стороной, на которую оказывают влияние результаты (выходные данные). Это означает, что восприятие человека управляет каждой составляющей ИИ, а значит имеет возможность в реализации «удобного», эргономичного, человеко-ориентированного ИИ. Ключевым в данном случае является удовлетворение в использовании временных, технических и иных ресурсов, вкладываемые в создание ИИ, которые в последующем окажут значительное влияние, одновременно не пренебрегая самим пользователем, учитывая его потребности в приоритетном порядке.

То есть кроме двух основных коммуникантов системы «человека машина» (далее СЧМ) — человеческой и машинной — появляется третья — ИИ (подсистема ИИ), но при этом системно-деятельностный подход, ставящий во главу угла первичность проектирования деятельности человека-оператора и максимально, тем самым, адаптирующий человека для эффективной работы в контуре управления, остается актуальным, так как ИИ в данном контексте будет выступать как партнер, помощник человека, а никак его заменитель. Эта третья компонента человеко-ориентированной информационной системы придает контуру управления интеллектуальности и такой трехкомпонентный контур мы вправе назвать интеллектуальным контуром управления (далее ИКУ). На рис. 2 представлена наглядная иллюстрация данной системы:

В подобном контексте следует обратить внимание на ГОСТ 26387-84 «Система «Человек-машина», устанавливающий термины, определяя понятия и эргономи-



Рис. 2. Интеллектуальный контур управления типа «Человек — машина — ИИ»

ческое обеспечение подобной системы [5]. Ключевыми терминами в данном документе являются далее СЧМ, т.е. система, в которой задействован человек и машина, (устройство или механизм), посредством использования которого осуществляется выполнение трудовой деятельности. Отсюда вытекают определения человека-оператора СЧМ — т.е. лица, выполняющего некоторые функции путем взаимодействия с объектом труда, «машиной и средой на рабочем месте при использовании информационной модели и органов управления» и органа управления СЧМ — или средства, устройства, передающее «управляющие воздействие от оператора СЧМ к машине». В свою очередь, термины обслуживаемости, управляемости, эргономического обеспечения и др. дополняют и унифицируют терминологию в контексте СЧМ.

Вышеописанный стандарт возможно использовать для построения СЧМ во взаимосвязи, например, с ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016 «Эргономика взаимодействия человек — система. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем» [6]. Также он приемлем в создании ИКУ в контексте удобства взаимодействия с машиной и повышения эффективности деятельности труда человека, поскольку предназначен для разработки различных компьютерных интерактивных систем.

Сформулированный т.н. человеко-ориентированный подход, где конечному пользователю отдается наибольшее предпочтение (учитывание эргономических и иных особенностей) при разработке интерактивных систем дополняет некоторыми принципами, расширяющие современные методологии проектирования:

- а) Предварительное обозначение круга предполагаемых пользователей, проектирование системы на основе полного понимания их потребностей;
- б) Обязательная вовлеченность пользователей в процесс проектирования и разработки;
- в) Внешняя оценка проекта/системы со стороны самих пользователей;
- г) Создание итеративного (повторяемого) механизма или процесса совершенствования проекта/системы;
- д) Учет пользовательского опыта;
- е) Привлечение в процесс разработки специалистов различных областей.

Основными понятиями, которые обозначены в данном стандарте следует выделить следующие:

1. Человеко-ориентированное проектирование или «метод создания интерактивных систем, задействующий эргономические принципы с целью повышения пригодности их последующего использования»;
2. Верификация — это «процесс подтверждения (сопоставления) установленных требований и текущих характеристик/элементов системы на предмет их выполнения»;
3. Пользователь — Лицо или «человек, осуществляющий взаимодействие с продукцией».

На этапе создания той или иной системы, необходимо четкое разграничение двух взаимосвязанных этапов: планирования и выполнение проекта (рис.3). В первый этап входит:

1. Учет наиболее значимых эргономических требований разработчиками проекта (масштаб системы, конечное число пользователей, выявление уровней риска и др.);
2. Составление структуры плана (определение методов и ресурсов, с помощью которых выполняется деятельность, создание эффективной обратной связи и др.);
3. Взаимодействие плана человеко-ориентированного проектирования и плана проекта;
4. Выделение времени и ресурсов для проектирования в контексте общего плана проекта. Этот процесс предполагается на ранних этапах проекта с дальнейшим регулярным его пересмотром.

Что касается второго этапа, то для его реализации необходимо выполнить задач:

1. Определить условия, в которых будет осуществляться использование данной системы;
2. Составление требований со стороны лиц, эксплуатирующих данную систему (пользователей);
3. Разработка проектного решения;
4. Анализ проекта.

В свою очередь каждый из представленных видов деятельности учитывает следующие проблемы:

- Очерчивает круг потребностей пользователей и иных сторон;
- Различие в условиях использования при выполнении задач для групп пользователей;
- Отсутствие исчерпывающих требований на начальном этапе их проектирования;
- Выявление необходимости тех или иных требований уже после представления готового решения;
- Возможность столкновения и дальнейшая несовместимость требований между группами пользователей и др.;

Иными словами, сформулированные положения данного стандарта ориентированы на создание в рабочем процессе удобного, а значит эффективного использования созданных сред (систем), развивая положительную динамику как в экономическом, так и в социальном аспекте.

ГОСТ IEC 60447-2015 «Интерфейс «человек-машина». Основные принципы безопасности, маркировка и идентификация. Принципы включения» ставит своей целью установить общие требования к взаимодействию с различными органами управления, составляющие т.н. человеко-машинный интерфейс (далее ЧМИ) т.е. различного рода средств, назначение которых заключается в обеспечении человека — оператора возможностями управления тем или иным агрегатом, оборудованием [7]. С точки зрения построения системы контура управления можно отметить следующие термины как орган управления, т.е. «часть системы приведения в действие, которая принимает воздействие человека», сигнал или «визуальное, звуковое или осязательное обозначение передаваемой информации» и периферийные устройства — некоторое «оборудование, с помощью которого пользователи взаимодействуют с компьютерной системой».

Кроме этого, данный стандарт содержит положения о различных видах действий, о результатах их воздействий, обязательные требования к обозначению органов управления, а также специфику требований специальным органам управления. Некоторые примеры адаптированы и отображены на рис. 4, 5:

Иными словами, данный стандарт в большинстве затрагивает базовое, в некоторых моментах интуитивно понятное для человека взаимодействие с различными органами управления, уделяя особое внимание безопасности и надежности использования оборудования.

#### Нормативные основы адаптируемости интеллектуального контура управления

Примером использования когнитивных технологий в управленческой деятельности можно назвать систему



Рис. 3. Взаимодействие этапов человеко-ориентированного проектирования

«Управление». Исходя из содержания Постановления Правительства РФ от 25 декабря 2009 г. N 1088 «О государственной автоматизированной информационной

системе «Управление», данная сущность представляет собой государственную автоматизированную информационную систему, «обеспечивающую формирование и обработку данных, содержащихся в государственных и муниципальных информационных ресурсах, данных официальной государственной статистики, сведений, необходимых для обеспечения поддержки принятия управленческих решений в сфере государственного управления...» [3]. В данном случае, термин «автоматизированность» как раз указывает на её эргатическую сущность, а равно как факт использования подобной системы на государственном уровне.

Актуальности по обзору данных стандартов добавляет разработка важнейших стратегий в учет национальным интересам Российской Федерации. Так, например, согласно указу Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», ИКУ возможно отнести в понятие цифровой экономики, поскольку здесь происходит слияние двух важных аспектов: «использование данных в цифровом виде, обработка их больших объемов результатов анализа», и их использование позволяет «существенно повысить эффективность производства, технологий» [2]. В данном указе также делается акцент на внедрении когнитивных технологий, при помощи которых возможно дальнейшее развитие «технологий сбора и анализа данных, обмена ими, управления производственными процессами», что потенциально ставит ИКУ в один ряд с другими не менее значимыми технологиями, способствующими развитию цифровой экономики. Иные примеры использования подобных технологий можно встретить в различных национальных проектах [14, 15].

Принимая во внимание стандарты, регулирующие область ИИ, следует обозначить ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения» [8], содержащий различные термины, включая «объяснимость», «понятность» и «предсказуемость» ИИ в ходе его обучения и выполнения поставленных задач.

С точки зрения возможной оценки качества системы ИИ на каждом этапе её создания был определен «ГОСТ Р 59898-2021 Оценка качества систем искусственного интеллекта. Общие положения» [9], правила применения которого в свою очередь установлены в ст. 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации» [1].

Также на данный момент принят предварительный стандарт 838-2023/ИСО/МЭК 23053:2022 «Искусственный интеллект. Структура описания систем искусственного интеллекта, использующих машинное обучение» [10] и ГОСТ Р 59277-2020 «Системы искусственного ин-

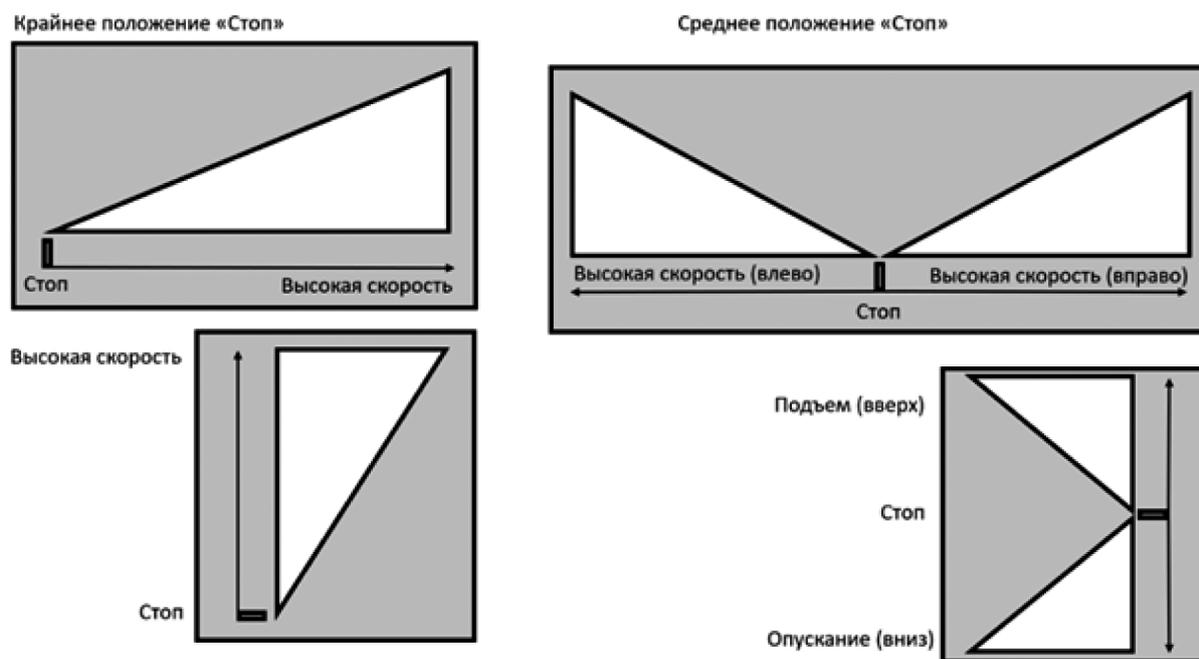


Рис. 4. Положение «СТОП» ползунка (пример линейного перемещения).

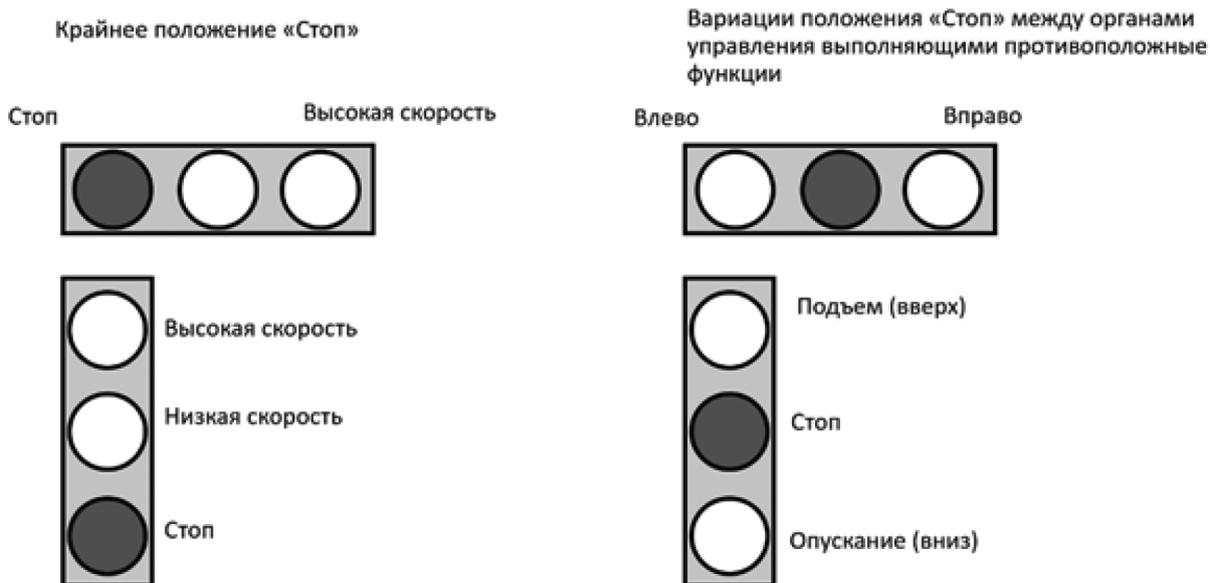


Рис. 5. Кнопка «СТОП» в наборе органов управления.

теллекта. Классификация систем искусственного интеллекта», где обозначаются положения по структурированию и классификации систем ИИ [11].

Первый стандарт систематизирует и описывает структуры систем ИИ, которые используют машинное обучение, т.е. «вычислительные методы, дающие системе возможность обучаться на основе входных данных и опыта», для возможного применения в любом из типов организаций (например, некоммерческие, государственные организации), ставящей своей целью внедрить и в дальнейшем использовать системы ИИ.

Второй в свою очередь устанавливает некоторые принципы классификации систем ИИ для сравнения подобных систем по некоторым видам параметров (деятельность, структура знаний, функции контура управления, безопасность, степень автоматизации и др.). Наличие и использование подобной «базы знаний» позволит повысить эффективность использования данных систем ИИ для решения прикладных задач (в т.ч. и во взаимодействии с человеком-оператором).

Анализ выше представленных стандартов показывает отсутствие единой формы взаимосвязи в области регулирующих проектирование, разработку и описанное

взаимодействие каждого из элементов в интеллектуальном контуре управления. Для реализации подобных систем необходим как теоретический, законодательно-выверенный понятийный аппарат, так и практическая составляющая — наличие соответствующих технологий, необходимых для создания данной системы.

Несмотря на это, представленные стандарты, нормативные документы в различной степени отражают специфику регулирования интеллектуального контура управления. Путем визуализации представляется возможным проследить некоторую структуру регулирования тех элементов, из которых состоит интеллектуальный контур управления. Подобная иллюстрация представлена на рис. 6:

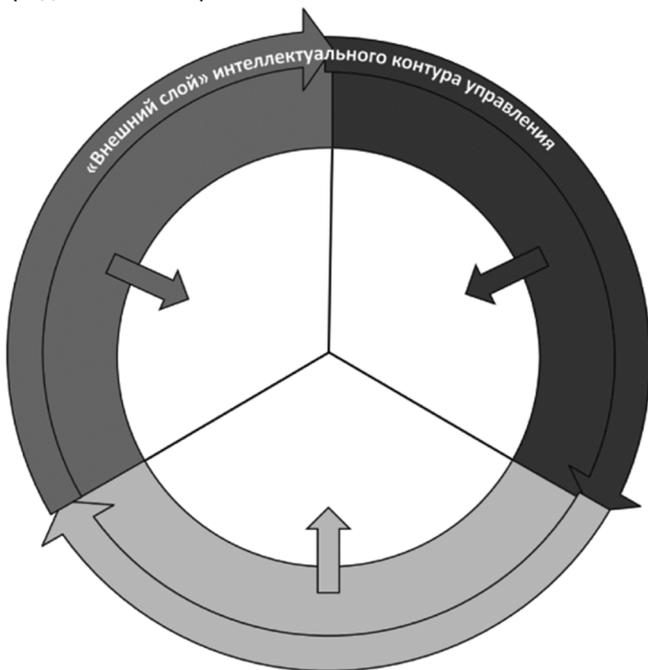


Рис. 6. Структура внешнего слоя интеллектуального контура управления

Так, во «внешнем» слое интеллектуального контура управления следует обозначить стандарты, выполняющие регулятивные, «эталонные» функции в каждой отдельной части (человек, машина, ИИ) которые были рассмотрены ранее. Иными словами, каждой отдельному элементу ИКУ соответствует некоторая нормативная часть, которой можно руководствоваться при создании

подобных систем. Неисчерпывающий список стандартов представлен в таблице 2:

Таблица 2.

Соотношение элементов ИКУ и относимый стандарт

№	Элемент ИКУ	Стандарты
1	Человек — оператор	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016 «ЭРГОНОМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕК — СИСТЕМА. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем»;</li> <li>• ГОСТ Р МЭК 60447-2000 «ИНТЕРФЕЙС ЧЕЛОВЕКО-МАШИННЫЙ. Принципы приведения в действие»</li> </ul>
2	Машина	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ 26387-84 «Система «Человек-машина»»</li> <li>• ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016 «ЭРГОНОМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕК — СИСТЕМА. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем»</li> </ul>
3	ИИ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ГОСТ Р 59276-2020 «Системы искусственного интеллекта. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОВЕРИЯ. Общие положения»</li> <li>• ГОСТ Р 59898—2021 ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА. Общие положения.</li> <li>• ПНСТ 838-2023 838-2023/ИСО/МЭК 23053:2022 «Искусственный интеллект. Структура описания систем искусственного интеллекта, использующих машинное обучение»</li> <li>• ГОСТ Р 59277-2020 «Системы искусственного интеллекта. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»</li> </ul>

**Заключение**

Таким образом, были представлены положения предметной области, исходя из анализа нормативно-технических стандартов, документов, связанных с регулированием области контура управления в связке с ИИ. Данные в статье понятия управленческого решения, интеллектуального контура управления, а также его отдельных элементов, позволят точнее формулировать теоретические и нормативно-технические положения. В свою очередь, представленную схему и таблицу «внешнего» слоя ИКУ в перспективе возможно использовать в качестве источника для создания полноценного стандарта, регулирующего интеллектуальный контур управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29.06.2015 N 162-ФЗ // Российская газета, N 144 (6715), 03.07.2015.
2. Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы» // «Собрание законодательства Российской Федерации». 2017. № 20. Ст. 2901
3. Постановление Правительства РФ от 25 декабря 2009 г. N 1088 «О государственной автоматизированной информационной системе «Управление» // «Собрание законодательства Российской Федерации». 2010. № 4. Ст. 101
4. ГОСТ 34.602 — 2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы. Межгосударственный стандарт : дата введения 2022-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Российский институт стандартизации, 2021 — 12 с.
5. ГОСТ 26387-84. Система «Человек-машина». Термины и определения: Межгосударственный стандарт: дата введения 1986-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Стандартинформ, 2006 — 7 с.
6. ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016. Эргономика взаимодействия человек — машина. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем: Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2017-01-12 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Стандартинформ, 2018 — 36 с.
7. ГОСТ ИЕС 60447-2015. Интерфейс «человек-машина». Основные принципы безопасности, маркировка и идентификация. Принципы включения: Межгосударственный стандарт Российской Федерации: дата введения 2016-01-10 / Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации. — Изд. Официальное. — Москва: Стандартинформ, 2016 — 24 с.
8. ГОСТ Р 59276-2020. «Системы искусственного интеллекта. Способы обеспечения доверия. Общие положения: Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021-01-03 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Стандартинформ, 2021 — 16 с.
9. ГОСТ Р 59898—2021. Оценка качества систем искусственного интеллекта. Общие положения: Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2022-01-03 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Российский институт стандартизации, 2021 — 24 с.
10. ПНСТ 838-2023/ИСО/МЭК 23053:2022. Искусственный интеллект. Структура описания систем искусственного интеллекта, использующих машинное обучение. Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2024-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Российский институт стандартизации, 2023 — 40 с.
11. ГОСТ Р 59277-2020. Системы искусственного интеллекта. Классификация систем искусственного интеллекта. Национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2021-01-03 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. — Изд. Официальное. — Москва: Стандартинформ, 2021 — 16 с.
12. Железнов Э.Г., Комиссаров П.В., Цымай Ю.В. Исследование эргатических систем управления // Современные наукоемкие технологии. — 2021. — № 4. — С. 37–41; URL: <https://top-technologies.ru/ru/article/view?id=38612> (дата обращения 25.04.2024).
13. Фатхиурова И.Ф. Контуры управления как инструментальная составляющая систем контроля лабораторными потоками работ и документов // Вестник науки и образования. — 2019. — № 15 (69) — С. 39–41. URL: <https://scientificjournal.ru/images/PDF/2019/VNO-69/VNO-15-69.pdf> (дата обращения: 25.04.2024).
14. Оказаться в паутине — всемирной: главные отечественные IT-разработки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://национальныепроекты.рф/news/okazatsya-v-pautine-vsemirnoy-glavnye-otechestvennye-it-razrabotki> (дата обращения: 25.04.2024).
15. На пути к развитию: как государственные гранты на цифровизацию помогают частным компаниям [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://национальныепроекты.рф/news/na-puti-k-razvitiyu-kak-gosudarstvennye-granty-na-tsifrovizatsiyu-pomogayut-chastnym-kompaniyam> (дата обращения: 25.04.2024).

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Гришин Кирилл Павлович (kirillgrish2014@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОБ ОДНОМ АЛГОРИТМЕ ГЕНЕРАЦИИ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЕТОК

## ABOUT ONE ALGORITHM FOR SURFACE MESH GENERATION

A. Dronov

*Summary.* The article discusses the methods of mesh generation in the context of creating a parallel algorithm for generating an unstructured computational mesh for tasks of modeling physical processes on supercomputers with distributed memory. The idea of an algorithm for the construction of surface meshes for such systems based on the advancing front method with space partitioning into segments and the use of common areas for communication between neighboring processes is proposed. This paper is considered as the first step in the design and implementation of a fully distributed tetrahedral mesh generation algorithm.

*Keywords:* mesh generation, distributed algorithms, distributed memory systems, surface mesh, surface triangulation, advancing front method, domain decomposition.

Дронов Антон Геннадьевич

аспирант, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» (г. Москва)  
chesston1t@yandex.ru

*Аннотация.* В статье обсуждаются способы построения расчетных сеток в контексте создания параллельного алгоритма генерации неструктурированной расчетной сетки для задач моделирования физических процессов на суперкомпьютерах с распределенной памятью. Предложена идея алгоритма построения поверхностных сеток для таких систем на основе метода движущегося фронта с разбиением пространства на сегменты и использованием общих зон для коммуникации между соседними процессами. Данная работа рассматривается в качестве первого этапа проектирования и реализации полностью распределенного алгоритма построения тетраэдральных сеток.

*Ключевые слова:* построение сеток, распределенные алгоритмы, системы с распределенной памятью, поверхностная сетка, триангуляция поверхности, метод движущегося фронта, разбиение пространства.

## Введение

Моделирование является важным инструментом для исследования различных явлений и процессов. С его помощью можно изучить поведение системы или процесса в определенных заданных условиях, определить оптимальные параметры, а также проверить интересующие предположения и выдвинуть гипотезы.

Моделирование производится на замещающих реальные объекты прототипах, и в объяснение этому можно выделить несколько ключевых факторов. Во-первых, создание реальной физической модели может быть дорогостоящим и трудоемким процессом, а в некоторых случаях и вовсе невозможным. Во-вторых, они могут быть достаточно сложными и времязатратными для изучения с точки зрения системы; при использовании моделей мы можем абстрагироваться от определенных её компонентов, изучая только необходимые с определенного ракурса, затем при необходимости меняя фокус наблюдения. В-третьих, использование моделей позволяет изменять исходные параметры исследования и повторять вышеупомянутый процесс. Многие программы для моделирования используют геометрические модели, построенные с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР).

В математическом моделировании широкое распространение получили расчеты на суперкомпьютерах для изучения математического описания реального объекта

для предсказания и анализа его поведения. В то же время вычислительные эксперименты над моделями зачастую опираются на численные методы, которые находят решения приблизительно с некоторой точностью. Первым этапом численного моделирования является дискретизация пространства, в частности, построение расчетной сетки. В трехмерном пространстве сетки состоят из узлов, ребер, граней и ячеек. От качества построенной сетки зависит решение поставленной задачи, при этом задача определения критериев качества и их оптимальности является сложной [1].

## Виды сеток

Обычно подразделяют сетки на структурированные (регулярные) и неструктурированные (нерегулярные) [2,3], иногда к этой классификации добавляют блочно-структурированные, или гибридные [4,5]. Структурированными называют сетки, где каждая точка уникально определяется индексами и соответствующими координатами в пространстве, что является их главным преимуществом, поскольку позволяет быстро находить соседние элементы добавлением или вычитанием единицы из какого-то из индексов [3]. Однако построение таких сеток есть трудоемкая задача в сложных областях, благодаря чему неструктурированные сетки являются более популярными, поскольку представляют большую гибкость за счет использования сущностей произвольной формы. В то же время, выбор такого подхода усложняет доступ к данным и вынуждает разработчика вводить дополнительные структуры для их хранения [6]. Блоч-

но-структурированные сетки формируют структурированные блоки в геометрии, соединяя их в общую нерегулярную структуру [4].

Также можно выделить разделение по наличию или отсутствию конформности — данное свойство тесно связано с понятием смежности элементов. В трехмерном пространстве сетка является конформной, если ни одна грань не имеет более двух смежных элементов, и не является в обратном случае.

Наконец, разделяют сетки по форме лежащих в основании фигур. В двумерном пространстве выделяют треугольные и четырехугольные сетки, а в трехмерном, несмотря на имеющееся многообразие (треугольные призмы, четырехугольные пирамиды и т.д.), в основном выделяют тетраэдральные и гексаэдральные сетки.

В работе был выбран подход с неструктурированными сетками. Основные методами построения треугольных неструктурированных сеток в двумерном пространстве являются триангуляция Делоне и метод движущегося фронта.

Триангуляция Делоне основана на одноименном критерии, в рамках которого внутри окружности, описанной вокруг любого построенного треугольника, не должны попадать другие задействованные в этой триангуляции точки. Сам критерий тесно связан с диаграммой Вороного, разбиением плоскости для заданного дискретного множества узлов таким образом, что в каждой области разбиения, соответствующей определенному узлу, любая точка была бы ближе к этому узлу, чем к любому другому; при соединении расположенных таким образом узлов соседних областей ребрами получается триангуляция Делоне.

В реальных задачах преимущественно входными данными служит не набор точек, а некая выпуклая область (или вовсе уже построенная триангуляция, не обязательно соответствующая условию Делоне); в таком случае дополнительную важность принимает операция добавления точек в исходную область для более подробного разбиения. Критерий Делоне для построения триангуляции впервые был использован в [7, 8]. Более подробную информацию о ней можно найти в [9].

Метод движущегося фронта оперируют понятиями начального и текущего фронтов. В качестве начального фронта для каждой грани исходного объекта берутся все отрезки из двух вершин, полученных дискретизацией каждого из её ребер; этот фронт в первоначальный момент времени является и текущим. Среди всех выбирается один из отрезков в соответствии с заранее выбранным критерием (например, наименьший по длине). После этого определяется положение третьей вер-

шины для формирования треугольника, которой будет либо новая, либо уже существующая точка, после чего текущий фронт обновляется, постепенно приходя к центральной части пространства от границ; операция продолжается до тех пор, пока текущий фронт не станет пустым — в таком случае можно сказать, что вся область покрыта триангуляцией.

Большинство из методов построения треугольных сеток расширяются на случай трехмерного пространства [5], при этом построение сеток тетраэдральных происходит в 2 этапа: на первом строится поверхностная сетка на границе области, а уже затем тетраэдральная сетка внутри области [10]. Существуют алгоритмы, где используется комбинация этих методов как в двумерном [11], так и трехмерном пространствах [10].

Методы построения четырехугольных сеток можно разделить на две категории: прямые, где поверхность сразу заполняется четырехугольными объектами, и непрямые, где они получаются трансформацией из сначала созданных других фигур, в большинстве случаев треугольников [5]. Прямые методы, как правило, дают более качественную сетку, однако, для обработки сложных областей зачастую требуется вмешательство пользователя [12]. Непрямые методы являются более универсальными, и поэтому получили широкое распространение [13], в частности, наиболее популярным является метод Q-Morph [14], та или иная его реализация легла в основу ряда работ [13, 15, 16].

При этом адаптация алгоритмов при переходе в трехмерное пространство для построения гексаэдров не является настолько тривиальной задачей, как в случае триангуляций. Основные подходы к их построению представлены в [5].

#### Параллелизация процесса построения сеток

С учетом постоянного роста вычислительных мощностей встает вопрос о более эффективном их использовании, чтобы снизить временные рамки простоя оборудования и потери производительности. Использование параллельных алгоритмов является одним из способов достижения этой задачи.

В системах с общей памятью потоки и процессы могут читать и изменять данные в одной и той же области памяти, в то время как каждый узел систем с распределенной памятью имеет собственное адресное пространство и обменивается данными через операции обмена. Большую популярность набрали вычислительные кластеры и суперкомпьютеры, которые используют системы с распределенной памятью как один из способов горизонтального масштабирования.

В научно-исследовательских проектах зачастую для более точных исследований используются достаточно большие по размеру сетки; программный комплекс MARPLE [17], решающий задачи механики сплошных сред и в дополнение к которому разрабатывается данный проект, не является исключением: здесь предусмотрена возможность проведения расчетов в параллельном режиме, а храниться сетка может в нескольких файлах, не обязательно расположенных в памяти одного вычислительного узла. При этом, существует проблема построения таких сеток и их разбиения между процессами. Традиционным подходом к решению такой задачи является генерация сетки последовательным алгоритмом с последующим разбиением на сегменты с помощью программных средств, например, METIS [18]. В то же время, в случае действительно большой по размеру сетки существует проблема её хранения на одном вычислительном узле, поскольку она может не помещаться целиком в его память. Кроме того, такой подход приводит к принципиальной нераспараллеливаемости операций построения и разбиения сетки, что, согласно закону Амдала, ограничивает эффективность параллельных вычислений при решении задачи в целом.

Суммируя все вышесказанное, отметим, что напрашивается идея параллельной, или во всяком случае распределенной по памяти генерации сеток, которая на выходе дает некоторое количество частей для параллельной обработки. Такое первоначальное разбиение может оказаться далеким от оптимального, и может потребоваться дальнейшее переразбиение. В настоящей работе обсуждается идея параллельного алгоритма построения треугольных сеток с планируемым последующим выходом к тетраэдральной форме.

В основе существующих алгоритмов построения трехмерных дискретизаций преимущественно лежат заранее построенные либо поверхностные, либо грубые объемные сетки.

В статье [19] область исходной поверхностной сетки в начале разделяется в пространстве с помощью структуры октодеревя, после чего сегменты идентифицируются и строится сетка параллельно с использованием метода движущегося фронта и стандарта OpenMP. Впоследствии алгоритм был адаптирован [20] для использования на системах с распределенной памятью с использованием гибрида MPI + OpenMP.

Работа [21] также использует октодеревья для декомпозиции областей, однако используется один из методов триангуляции Делоне «разделяй и властвуй».

Алгоритм [22] для входных данных в виде треугольной поверхностной сетки формирует области для дальнейшего независимого параллельного построения объ-

емной сетки на MPI процессах с помощью программ TRIANGLE [23] и TetGen [24] для двумерной и трехмерной триангуляций соответственно.

Наконец, в статье [25] стартовая грубая объемная сетка разбивается на несколько сегментов с помощью METIS [18], которые затем обрабатываются отдельно друг от друга на MPI процессах с уточнением поверхностной сеток каждого сегмента, после чего строится объемные сетки, впоследствии объединяемые в единое целое.

В этой работе автор сосредоточился на проектировании алгоритма для систем с распределенной памятью, в качестве входных данных получающего представление геометрической модели без какой-либо построенной заранее сеточной структуры (поверхностной или объемной).

### Концепция алгоритма

Пусть геометрия расчетной области задана в виде граничного представления, т.е. в виде криволинейных граней и ребер, а также вершин. Также задана функция желаемого шага сетки вида  $h = h(x, y, z)$ . Требуется построить триангуляцию (тетраэдризацию) расчетной области таким образом, чтобы вершины граничных ребер и граней сетки лежали бы на соответствующих ребрах и гранях расчетной области, треугольники (тетраэдры) имели бы приемлемое качество, а длина ребра сетки приблизительно соответствовала бы заданному шагу  $h$  в этой точке. Предполагается, что характерные размеры области, коими являются радиусы кривизны криволинейных границ и расстояния между границами в узких местах, всегда много больше, чем шаг в соответствующем месте, а задающая функция  $h$  не меняется слишком быстро.

Также задается количество разбиений  $N$  с помощью плоскостей, параллельных  $XZ$  или  $YZ$ , в соответствии с которыми необходимо разделить объект на заданное количество сегментов. Соответственно, итоговое число разбиений задается количеством используемых в ходе выполнения алгоритма подпроцессов.

Первым шагом алгоритма является определения ограничивающего пространства сетки (bounding box), куда попадают все элементы геометрии исходного объекта. Данное действие выполняется строго главным подпроцессом программы. Затем необходимо разделить пространство на  $N$  частей, которые представляют из себя параллелепипеды, задающимися парами точек, одна из которых отражает положение левого нижнего угла области, а другая — правого верхнего угла. Для согласования построения триангуляций на границах разбиения между соседними сегментами вводится понятие общей зоны, которая формируется при помощи функции  $d = d(x, y, z)$ . Построение плоскостей с отступом  $d$  по обе

стороны от плоскости разбиения ограничивает геометрическую область, которая задает общую зону между соседними процессами. По сути, у каждого подпроцесса есть собственная область ответственности, где он может формировать объекты, но в случае, если в соответствии с его критериями следующий должен находиться в общей зоне, то необходимо сначала согласовать данный шаг с подпроцессом, делящим с ним эту совместную область. Таким образом, при генерации сущности в пределах общей зоны подпроцесс должен убедиться у соседа в том, что ее положение является удовлетворительным для дальнейшей корректной работы.

После этого, отступая от каждой оси разбиения в обе стороны на расстояние  $dh$ , определяются общие зоны между соседними подпроцессами. Данный этап также полностью выполняется корневым процессом, который распределяет полученные сегменты и общие зоны по процессам, забирая в свое распоряжение область с наименьшими координатами, а сегменту с наибольшим номером — область с наибольшими координатами соответственно. Пример разбиения представлен на Рис. 1.

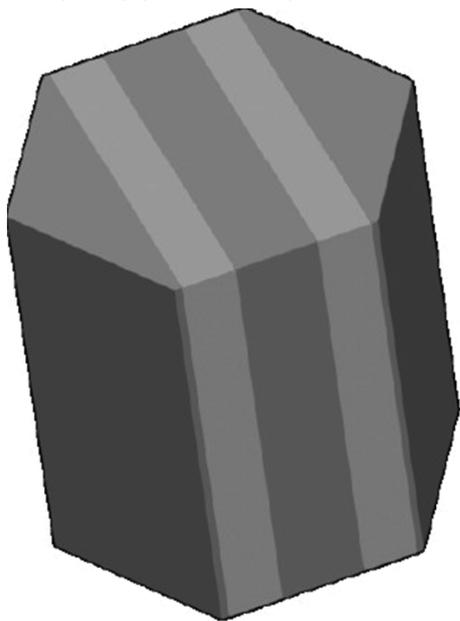


Рис. 1 Разбиение исходного пространства на 3 сегмента, соседние разделены общей зоной

На данный момент выбор разбиений ограничен одной плоскостью (или осью для двумерного пространства) для того, чтобы избежать ситуаций, когда подпроцесс может получить область для построения сетки, при этом ни одно из ребер модели не проходит сквозь нее напрямую.

На следующем шаге начинают работать уже все процессы, причем делают это параллельно, за исключением случаев, описанных выше. Каждый процесс умеет работать с файлом исходного представления геометрии (при

распределенных системах это означает, что на каждом вычислительном устройстве содержится копия входного файла), в то же время составляющие её части элементы различных размерности (узлы, грани, ребра) пронумерованы идентичным образом.

Алгоритм базируется на методе движущегося фронта. Первым делом процессы начинают с дискретизации вершин. Основная идея заключается в том, чтобы определить, принадлежит ли текущая вершина сегменту, выделенному процессу; в случае, если принадлежит, следует добавить ее в список узлов и текущий фронт. Действие повторяется для всех существующих вершин геометрической модели.

Затем происходит дискретизация ребер. Процессы, не имеющие узлов активного фронта, ожидают получения узлов от соседних процессов, пока те, в свою очередь, отступая на расстояние  $h$  относительно координат точки текущего фронта, формируют новый узел сетки и ребро, соединив эти узлы. Вновь добавленный узел становится фронтальным узлом, а прежний из фронта удаляется.

Как только следующей узел попадает в общую зону с одним из соседних процессов, происходит сеанс обмена, в котором процесс сообщает его координаты, а также номер ребра и значение параметра, определяющее узел на нем, после чего исключает его из фронта. После передачи данных процесс прекращает дискретизацию текущего ребра, отдавая дальнейшую работу в этом направлении на откуп своему соседу. Операция также продолжается до тех пор, пока множество фронтальных узлов у всех процессов не станет пустым и не будут обработаны все ребра.

Наконец, завершает цикл процесс дискретизации граней, которые являются представлением поверхностей. Все записанные на предыдущем этапе ребра записываются в активный фронт, на каждом ребре строится треугольник в соответствии с выбранным критерием (например, строится равнобедренный треугольник с известной длиной боковой стороны), новые ребра, сформированные треугольником, добавляются в активный фронт, в то время как основание треугольника из него исключается.

Важным моментом является то, что при выборе положения третьей вершины треугольника может оказаться, что на самом деле она является близкой по расположению к уже существующей точке (например, попадает в область окружности с центром в этой самой точке). В таком случае в качестве вершины выбирается самая близкая точка; в случае, если сторона получившегося треугольника находится в активном фронте, она отсюда исключается.

Если же новая точка, формирующая третью вершину, попадет в область общей зоны, то необходимо сообщить об этом расположении соседу и получить его одобрение на ее размещение в данном месте. В случае, если соседний процесс не имеет никаких противоречий, он направляет подтверждение в качестве ответа, и добавляет данную вершину в свой набор сущностей.

При ситуации, когда противоречия все же имеются, необходимо, помимо отрицательного ответа, предложить самую близкую вершину, имеющуюся в его пространстве. Поскольку такая точка может оказаться даже не в общей зоне, а в области ответственности только другого процесса, автором рекомендуется аккуратно задавать параметры построения сеток, в частности, чтобы ширина общей зоны, как минимум, превышала длину шага сетки.

Работа с модифицированным фронтом продолжается в цикле до тех пор, пока множество фронтальных ребер не станет пустым у всех процессов.

Большую значимость на всех этапах имеет коммуникация между процессами. Помимо необходимости синхронизации процессов после выполнения каждого этапа дискретизации, важно, чтобы во время этих процессов сеансы обмена происходили как можно чаще. В частности, в случае попадания узла в общую зону ожидается подтверждение от процесса-соседа, и долгое ожидание приведет к существенной потере производительности.

Автором предлагается подход, связанный с созданием на каждом процессе потоков, использующих общую память. В соответствии с описанной архитектурой, их

количество должно равняться количеству соседей у текущего процесса, по потоку на взаимодействие с конкретным соседом. Таким образом, если исходная модель разбивается на 4 сегмента, то 1 и 4 процесс выделяют по одному потоку для коммуникации с процессами 2 и 3 соответственно, в то время, как процессы 2 и 3 выделяют по 2 потока (для 1–3 и 2–4 соответственно). Для того, чтобы информация, передаваемые через эти потоки была актуальной, возможно использование различных примитивов синхронизации, таких, как семафор, мьютекс, критические секции и т.д.

В качестве заключительного этапа можно рассматривать процесс оптимизации расположения узлов, например, эллиптическую оптимизацию, когда при сохранении структуры сетки новые координаты узлов находятся в результате минимизации некоторого функционала.

### Заключение

Рассмотрены вопросы построения расчетных сеток, их классификация. Обсуждены способы увеличения производительности программ и использования мощностей современных программных комплексов с помощью параллельных вычислений. Предложена идея алгоритма построения поверхностных сеток для систем с распределенной памятью на основе метода движущегося фронта с разбиением пространства на сегменты и использованием общих зон для коммуникации между соседними процессами. Учитывая, что построение тетраэдральных этапов состоит из двух этапов, данная работа рассматривается в качестве первого этапа проектирования и реализации полностью распределенного алгоритма построения тетраэдральных сеток.

### ЛИТЕРАТУРА

- Ильин В.П. Математическое моделирование. Часть 1. Непрерывные и дискретные модели / В. П. Ильин. — Новосибирск: Изд-во Сиб. Отделения РАН, 2017. 2017. — 428 с.
- Berg M. Computational Geometry. / M. Berg, O. Cheong, M. Kreveld, M. Overmars — Springer, 2008. — 386 p.
- Blazek J. Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications (Third Edition). — Butterworth-Heinemann, 2015. — 447 p.
- Bern M., Plassmann P. Mesh generation // In J.-R. Sack and J. Urrutia (Eds.), Handbook of Computational Geometry. — Elsevier Science, 1999. — P. 291–332.
- Owen S.J. A survey of unstructured mesh generation technology // In Proc. of International Meshing Roundtable, 1998. — P. 239–267.
- Маврин А.С. Типы расчетных сеток и способы хранения информации о них [Электронный ресурс] / А.С. Маврин // Научное обозрение: электрон. журн. — 2018. — № 3. — 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). — Систем. требования: Pentium III, процессор с тактовой частотой 800 МГц; 128 Мб; 10 Мб; Windows XP/Vista/7/8/10; Acrobat 6 x.
- Lowson C.L. Software for C1 Surface Interpolation // Mathematical Software III (J.R. Rice ed.). — New York: Academic Press, 1977. — P. 161–194.
- Watson D.F. Computing the n-dimensional Delaunay tessellation with application to Voronoi polytopes // The Computer Journal. — 1981. — Vol. 24. — No. 2. — P. 167–172.
- Скворцов А.В., Мирза Н.С. Алгоритмы построения и анализа триангуляции. — Томск: Изд-во Том. ун-та, 2006. — 168 с.
- Данилов А.А. Технология построения неструктурированных сеток и монотонная дискретизация уравнения диффузии: диссертация кандидата физико-математических наук: 05.13.18 — Москва, 2010.
- An Improved Advancing-front-Delaunay Method for Triangular Mesh Generation. / Y. Guo, X. Huang, Z. Ma, Y. Hai, R. Zhao, K. Sun // In: Advances in Computer Graphics: 38th Computer Graphics International Conference. — Springer, Cham, 2021. — P. 477–487.
- Araújo C., Celes W. Quadrilateral Mesh Generation with Deferred Constraint Insertion. // Procedia Engineering. — 2014. — Vol. 82. — P. 88–100.

13. Генератор поверхностных неструктурированных четырехугольных сеток в препроцессоре пакета программ «Логос» / Е.Ю. Арапова, В.Г. Куделькин, Е.А. Павлов, С.Ю. Полякова, А.В. Тихонов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. — 2020. — Вып. 4. — С. 72–85.
14. Advancing front quadrilateral meshing using triangle transformations. / S.J. Owen, M.L. Staten, S.A. Cannan, S. Saigal // Proc. 7th Int. Meshing Roundtable. — Dearborn, Michigan, Sandia National Labs, 1998. — P. 409–428.
15. Беспалов А.П., Логинов Д.В., Соловьёв А.Н. Метод автоматического построения поверхностных сеток на гранях геометрических моделей в параметрическом представлении в препроцессоре пакета программ «Логос» // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов. — 2020. — Вып. 3. — С. 23–39.
16. Сковпень А.В. Усовершенствованный алгоритм построения нерегулярных четырехугольных сеток // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. — 2005. — Т.45, №8. — С. 1506–1528.
17. MARPLE: программное обеспечение для мультифизического моделирования в задачах сплошных сред / В.А. Гасилов [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2023. № 37. 40 с. <https://doi.org/10.20948/prepr-2023-37>, <https://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2023-37>.
18. Karypis, G., Kumar V. METIS — Unstructured Graph Partitioning and Sparse Matrix System, Version 2.0. — Technical Report, Department of Computer Science, University of Minnesota. — 1995.
19. Löhner R. A parallel advancing front grid generation scheme. // Int. J. Numer. Meth. Eng. — 2001. — Vol. 51 (6). — P. 663–678.
20. Löhner, R. A 2nd Generation Parallel Advancing Front Grid Generator. // In: Jiao, X., Weill, J.C. (eds) Proceedings of the 21st International Meshing Roundtable. — Springer Berlin Heidelberg, 2013. — P. 457–474.
21. De Cougny H.L., Shephard M.S. Parallel Volume Meshing Using Face Removals and Hierarchical Repartitioning. // Comp. Meth. Appl. Mech. Eng. — 1999. — Vol. 174 (3–4). — P. 275–298.
22. Автоматическое параллельное построение тетраэдральных сеток с помощью декомпозиции расчетной области / Х. Андрэ, О.Н. Глущенко, Е.Г. Иванов, А.Н. Кудрявцев // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. — 2008. — Т.48, №8. — С. 1448–1457.
23. Shewchuk J.R. Triangle: Engineering a 2D quality mesh generator and Delaunay triangulator. // Proceedings first workshop on Applied Computational Geometry, 1996. — P. 124–133.
24. Si H., Gaertner K. Meshing Piecewise Linear Complexes by Constrained Delaunay Tetrahedralizations. // Proceeding of the 14th International Meshing Roundtable. — 2005. — P. 147–163.
25. Parallel unstructured mesh generation by an advancing front method. / Y. Ito, A. Shih, A. Erukala et al. // Math Comput Simul. — 2007. — Vol. 75 (5–6). — P. 200–209.

© Дронов Антон Геннадьевич (chesston1t@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# АНАЛИЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОЗГОВЫХ СЕТЕЙ У ЛЮДЕЙ С РАССТРОЙСТВОМ АУТИСТИЧЕСКОГО СПЕКТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ BERGM

## ANALYSIS OF FUNCTIONAL BRAIN NETWORKS IN INDIVIDUALS WITH AUTISM SPECTRUM DISORDER USING THE BAYESIAN EXPONENTIAL RANDOM GRAPH MODEL

I. Kobzev

*Summary.* This study focuses on analyzing the structure of functional brain networks in patients with Autism Spectrum Disorder (ASD) using the Bayesian Exponential Random Graph Model (BERGM). Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) data from the ABIDE dataset and the MSDL atlas were utilized for this analysis. The examination of the structural features of brain networks revealed significant differences between ASD patients and the control group. Additionally, a statistical analysis, including the Kolmogorov-Smirnov test, identified significant differences in parameter distributions between these groups, particularly concerning the  $g_{wnsp}$  statistic. Proposed future research directions include analyzing the dynamics of brain networks over time, comparing different brain network models, and exploring the relationship between brain structure and function. The findings of this study may contribute to a deeper understanding of the mechanisms underlying ASD and the development of new diagnostic and therapeutic approaches, as well as improving the prognosis of the disorder.

*Keywords:* Statistical modeling, Brain networks, Bayesian Exponential Random Graph Model, Functional magnetic resonance imaging, Autism spectrum disorder, ABIDE.

**Кобзев Иван Сергеевич**

Аспирант, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»  
kobzev.ctmc@yandex.ru

*Аннотация.* Данное исследование посвящено анализу структуры функциональных мозговых сетей у пациентов с расстройством аутистического спектра (РАС) с использованием байесовской экспоненциальной модели случайных графов (BERGM). Для достижения цели исследования использовались данные функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) из датасета ABIDE и атлас MSDL. Анализ структурных особенностей мозговых сетей позволил выявить значительные различия между пациентами с РАС и контрольной группой. В ходе исследования также был проведен статистический анализ, включающий тест Колмогорова–Смирнова, который выявил значимые различия в распределениях параметров между указанными группами, особенно в отношении статистики  $g_{wnsp}$ . Предложены дальнейшие направления исследований, включая анализ динамики мозговых сетей во времени, сравнение различных моделей мозговых сетей и изучение взаимосвязи между структурой и функцией мозга. Полученные результаты могут способствовать глубокому пониманию механизмов, лежащих в основе РАС, и разработке новых методов диагностики и терапии данного расстройства.

*Ключевые слова:* статистическое моделирование, Мозговые сети, Байесовская экспоненциальная модель случайных графов, Функциональная магнитно-резонансная томография, Расстройство аутистического спектра, ABIDE.

## Введение

Случайные графы широко используются в различных областях науки и техники для моделирования систем, в которых связи между элементами образуются случайным образом. Одной из первых и наиболее известных моделей случайных графов является модель Эрдёша-Реньи [8], которая предполагает, что каждое возможное ребро создаётся с определённой вероятностью независимо от других рёбер. Эта модель хорошо подходит для анализа многих природных и технических систем, но её простота также накладывает ограничения на возможности анализа.

Для более глубокого изучения структурных характеристик графов была предложена экспоненциальная модель случайных графов (ERGM) [9]. В этой модели ве-

роятность появления рёбер в графе зависит от набора параметров, позволяющих учитывать такие свойства, как количество рёбер, треугольники, кластеры и другие топологические особенности. ERGM часто применяется для анализа социальных сетей, где структуры отношений между элементами играют важную роль. В работе [13] была проанализирована возможность применения данной модели в нейробиологических задачах.

ERGM предоставляет несколько преимуществ по сравнению с моделью Эрдёша-Реньи. Во-первых, она позволяет учитывать зависимость между рёбрами, что важно для анализа реальных сетей. Во-вторых, она гибко настраивается для изучения различных свойств графов. Однако вычислительная сложность, связанная с оценкой параметров модели, может быть высокой.

Для решения этой проблемы была предложена байесовская экспоненциальная модель случайных графов (BERGM) [3], которая использует байесовский подход для оценки параметров. Это позволяет более эффективно моделировать сложные структуры графов и получать вероятностные интерпретации результатов.

В данной статье мы исследуем применение модели BERGM для анализа функциональных МРТ (фМРТ) людей с расстройством аутистического спектра (РАС). Исследование фМРТ-данных позволяет выявить различия в функциональной связности мозга у людей с РАС по сравнению с контрольной группой. Мы применили модель BERGM для анализа графов, полученных из данных фМРТ, чтобы выявить структурные особенности, характерные для группы людей с РАС. В следующих разделах мы представим наши методы, результаты и обсудим выводы, которые были сделаны на основе полученных данных.

### Экспоненциальная модель случайных графов (ERGM)

Экспоненциальная модель случайных графов (ERGM) является одним из наиболее гибких подходов к моделированию структурных особенностей графов. В данной модели вероятность возникновения графа  $G$  определяется как экспоненциальная функция, зависящая от ряда параметров  $\theta$  и достаточных статистик графа:

$$P(G) = \frac{1}{Z(\theta)} e^{\theta \cdot s(G)},$$

где  $Z(\theta)$  является нормирующей статистической суммой, а  $s(G)$  — это вектор достаточных статистик графа, таких как количество рёбер, число треугольников, число клик и других.

Одной из главных проблем в оценке параметров модели ERGM является вычисление нормирующей константы  $Z(\theta)$ . Эта константа требует суммирования экспоненциальных функций для всех возможных графов, что становится вычислительно неосуществимым, поскольку количество возможных графов растёт экспоненциально с увеличением числа вершин.

Несмотря на вычислительные сложности, модель ERGM широко применяется, поскольку она позволяет учитывать сложные зависимости в графах. Оценка параметров модели ERGM обычно осуществляется с использованием методов стохастического моделирования, таких как метод цепей Маркова Монте-Карло (MCMC), который, тем не менее, требует значительных вычислительных ресурсов и времени.

### Байесовская экспоненциальная модель случайных графов (BERGM)

Для преодоления сложностей, связанных с оценкой параметров в модели ERGM, была предложена байесовская экспоненциальная модель случайных графов (BERGM) [3]. В отличие от классической ERGM, модель BERGM использует байесовский подход к оценке параметров, который включает в себя априорные распределения для параметров  $\theta$ , апостериорные распределения, и выборочные методы.

Метод байесовского вывода, предложенный в модели BERGM, основывается на использовании алгоритмов Монте-Карло с Марковской цепью (MCMC) для симуляции апостериорных распределений. Такой подход позволяет проводить эффективное моделирование, избегая прямого расчета нормирующей константы. Вместо этого проводится выборка из апостериорных распределений, что позволяет сделать выводы о вероятных значениях параметров модели.

В данной статье мы исследуем применение модели BERGM для анализа функциональных МРТ (фМРТ) у людей с расстройством аутистического спектра (РАС). Мы применяем алгоритмы MCMC для оценки параметров модели BERGM, чтобы выявить структурные особенности графов, полученных из данных фМРТ.

В данной статье мы исследуем применение модели BERGM для анализа функциональных МРТ (фМРТ) у людей с расстройством аутистического спектра (РАС). Мы применяем алгоритмы MCMC для оценки параметров модели BERGM, чтобы выявить структурные особенности графов, полученных из данных фМРТ.

### Подготовка данных

Для исследования функциональной связности мозга у людей с расстройством аутистического спектра (РАС) был использован датасет ABIDE (Autism Brain Imaging Data Exchange) [6], который предоставляет данные функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) для различных групп пациентов и контрольной группы. В данном исследовании мы использовали часть датасета ABIDE, предоставленную Нью-Йоркским университетом (NYU). Представленный датасет был исследован в работах [5], [12] с точки зрения методов машинного обучения, однако ранее статистические графовые модели для анализа не применялись.

Для определения областей интереса (ROI) в фМРТ-данных мы применили атлас MSDL (MultiScale Dictionary Learning) [1]. Этот атлас содержит наборы функциональных областей мозга, которые могут быть использованы для анализа функциональной связности.

На основе выбранного ROI-атласа были получены временные ряды для каждого региона. С использованием этих временных рядов была построена матрица ковариаций, отражающая взаимосвязи между регионами. Однако для анализа функциональной связности часто используется матрица обратных ковариаций (инвертированная матрица ковариаций), поскольку она отражает прямые связи между областями мозга.

После получения матрицы обратных ковариаций мы применили пороговое значение для бинаризации

матрицы. Пороговое значение было выбрано согласно формулам, описанным в [11], для обеспечения ясности структуры графа и избежания слишком плотных связей.

### Моделирование

Для моделирования каждого из полученных графов была применена байесовская экспоненциальная модель случайных графов (BERGM). Мы использовали библиотеку BERGM в языке R [4], [2], которая предоставляет инструменты для работы с байесовскими экспоненциальными моделями случайных графов.

В процессе моделирования мы учитывали несколько статистик, отражающих различные свойства графов. Для моделирования были использованы следующие статистики:

- **Рёбра:** Общее количество рёбер в графе.
- **GWESP (generalized weighted edgewise shared partners):** Статистика, которая учитывает количество общих партнёров между рёбрами с параметром  $\theta = 0.75$ . Она отражает кластеризацию в графе.
- **GWNSP (generalized weighted non-edgewise shared partners):** Статистика, которая учитывает количество партнёров, которые не соединены рёбрами с параметром  $\theta = 0.75$ . Эта статистика отражает количество «пропущенных» рёбер или потенциал для образования новых рёбер.

Выбор этих статистик и параметров был основан на работах по анализу сложных сетей мозга [7], [10]. Эти статистики позволяют учесть основные характеристики структур мозговых сетей, такие как общее количество рёбер, кластеризация и потенциальные связи.

Для моделирования модели BERGM были установлены следующие параметры:

- **Основные итерации (main.itors):** 6000 итераций.
- **Количество цепей (nchains):** 6 цепей.
- **Вспомогательные итерации (aux.itors):** 2000 вспомогательных итераций.
- **Сгорание (burn.in):** 1000 итераций перед началом основной выборки.

Эти параметры обеспечивают достаточное количество итераций для получения надежных апостериорных

распределений параметров модели. Использование нескольких цепей помогает улучшить сходимость модели, а вспомогательные итерации позволяют лучше исследовать пространство параметров.

### Результаты

В ходе исследования были проанализированы распределения параметров моделей BERGM для выборки людей с расстройством аутистического спектра (РАС) и контрольной группы.

Для каждого из этих параметров были построены распределения параметров для двух групп. Результаты приведены ниже (см. рис.):

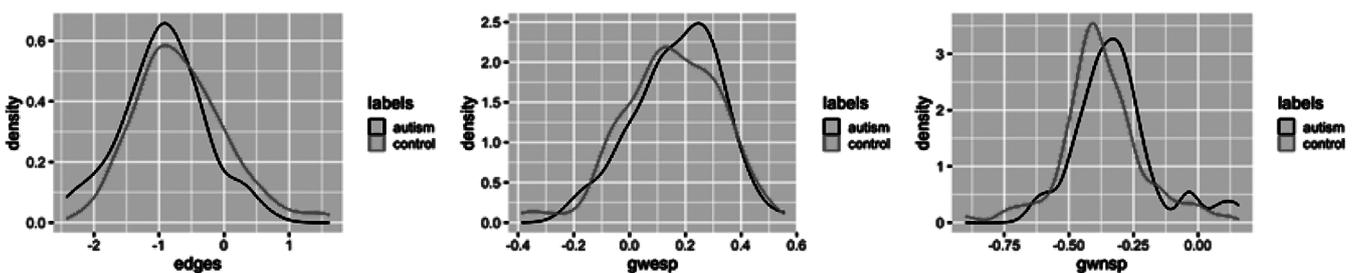
Для определения того, отличаются ли распределения параметров между группой РАС и контрольной группой, был проведен тест Колмогорова–Смирнова. Результаты теста показали, что p-value для параметра, связанного со статистикой GWNSP, равно 0.02831. Это указывает на статистически значимое (на уровне значимости 0.05) различие между распределениями параметров в группе РАС и контрольной группе. Такой результат может означать, что люди с расстройством аутистического спектра имеют отличающуюся структуру мозговых сетей по сравнению с контрольной группой, особенно в отношении параметра, отражающего статистику GWNSP. Дальнейший анализ может помочь выявить, как эти различия влияют на функциональные характеристики мозга.

### Заключение

В данной статье мы изучили применение байесовской экспоненциальной модели случайных графов (BERGM) для анализа функциональных МРТ (фМРТ) у людей с расстройством аутистического спектра (РАС). Наш анализ позволил выявить структурные особенности мозговых сетей, которые отличаются между группой РАС и контрольной группой.

Основные результаты включают следующее:

1. Мы построили графы функциональных связей, используя данные фМРТ из датасета ABIDE с использованием атласа MSDL. Матрица обратных ковариаций была бинаризирована с использованием порога, обеспечивающего подходящую плотность графов.



2. Для каждого из полученных графов была применена модель BERGM с учетом статистик рёбер, GWESP и GWNSP. Параметры моделей были изучены, и результаты показали статистически значимые различия между выборкой РАС и контрольной группой.
3. Тест Колмогорова-Смирнова выявил значимое различие в распределениях параметров, связанных со статистикой GWNSP, с  $p$ -value 0.02831, что указывает на различия в структуре мозговых сетей между людьми с РАС и контрольной группой.

Эти результаты подчеркивают потенциал применения модели BERGM для анализа сложных мозговых сетей и выявления структурных отличий в данных фМРТ у людей с РАС. Однако остаётся ряд вопросов, которые требуют дальнейших исследований.

Возможные направления для будущих исследований включают:

1. Расширение выборки: Проведение исследования на более широкой выборке, включая разные возрастные группы, гендерные различия и другие факторы.
2. Дополнительные статистики: Изучение других статистик, которые могут дать более глубокое понимание структуры мозговых сетей.

3. Исследование динамики: Анализ динамических изменений в функциональных мозговых сетях у людей с РАС, чтобы изучить, как структуры изменяются с течением времени или под воздействием терапии.
4. Связь с клиническими показателями: Изучение связи между структурой мозговых сетей и клиническими проявлениями расстройства аутистического спектра, чтобы понять, как функциональные изменения мозга могут быть связаны с симптоматикой.
5. Анализ других заболеваний: Описанный подход может быть применён и к другим заболеваниям, поражающим или затрагивающим головной мозг, чтобы получить лучшее понимание функциональных различий у болеющих и здоровых людей.

В заключение, наше исследование предоставляет ценные данные о структурных различиях мозговых сетей у людей с РАС и подтверждает, что модель BERGM является мощным инструментом для анализа функциональных мозговых сетей. Мы надеемся, что дальнейшие исследования в этой области будут способствовать лучшему пониманию расстройства аутистического спектра и возможным методам его лечения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Abraham, A., & others. (2014). Machine learning for neuroimaging with scikit-learn. *Frontiers in Neuroinformatics*, 8, 14.
2. Caimo, A., Bouranis, L., Krause, R., & Friel, N. (2022). Statistical Network Analysis with Bergm. *Journal of Statistical Software*, 104, 1–23.
3. Caimo, A., & Friel, N. (2011). Bayesian exponential random graph models. *Journal of Statistical Software*, 39(4), 1–24.
4. Caimo, A., & Friel, N. (2014). Bergm: Bayesian Exponential Random Graphs in R. *Journal of Statistical Software*, 61(2), 1–25.
5. Dadi, K., Rahim, M., Abraham, A., Chyzhyk, D., Milham, M., Thirion, B., Varoquaux, G., & Initiative, A.D.N. (2019). Benchmarking functional connectome-based predictive models for resting-state fMRI. *Neuroimage*, 192, 115–134.
6. Di Martino, A., & others. (2014). The Autism Brain Imaging Data Exchange: towards a large-scale evaluation of the intrinsic brain architecture in autism. *Molecular Psychiatry*, 19(6), 659–667.
7. Dichio, V., & Fallani, F. (2023). Statistical models of complex brain networks: a maximum entropy approach. *Reports on Progress in Physics*, 86, 102601.
8. Erdős, P., & Rényi, A. (1959). On random graphs. *Publicationes Mathematicae*, 6, 290–297.
9. Frank, O., & Strauss, D. (1986). Markov graphs. *Journal of the American Statistical Association*, 81(395), 832–842.
10. Lehmann, B.C.L. and Henson, Richard and Geerligns, L. and Cam-CAN, and White, S.R. (2021). Characterising group-level brain connectivity: A framework using Bayesian exponential random graph models. *NeuroImage*, 225, 117480.
11. Simpson, S. L., & others. (2020). Exponential Random Graph Modeling for Complex Brain Networks. *Statistical Methods in Medical Research*, 29(1), 50–72.
12. Yang, X., Schrader, P. T., & Ning Zhang. (2020). A Deep Neural Network Study of the ABIDE Repository on Autism Spectrum Classification. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(4), 1–6.
13. Yu, F., El-Zaatari, H., Kosorok, M., Carnegie, A., & Dave, G. (2024). The application of exponential random graph models to collaboration networks in biomedical and health sciences: a review. *Network Modeling Analysis in Health Informatics and Bioinformatics*, 13, 5–16.

© Кобзев Иван Сергеевич (kobzev.cmc@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ НЕЛИНЕЙНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ С МАССИВОМ ГРУНТА

**Марковник Григорий Амиранович**

Аспирант,

Российский университет транспорта, г. Москва

[g.markovnik@mail.ru](mailto:g.markovnik@mail.ru)

## FEATURES OF MODELING THE NONLINEAR INTERACTION OF AN ENGINEERING STRUCTURE WITH AN ARRAY OF SOIL

**G. Markovnik**

*Summary.* The problem of modeling the nonlinear interaction of an engineering structure with an array of soil has become especially relevant with the development of theoretical and practical research in the field of computer modeling, which is based on software with a large amount of processed and stored data. The problems of data security used to model the nonlinear interaction of an engineering structure with an array of soil, in contrast to the proper choice of software, which is directly related to the safety of construction processes, have not been practically studied in the specialized literature.

The article examines the theoretical foundations of the creation of cyber security systems and concludes that at the present stage, ensuring data security in modeling the nonlinear interaction of an engineering structure with an array of soil, as one of the integral stages of construction design, is of key importance, due to its direct impact on safety during construction. The first step towards data cyber security is to understand the specifics of software operation and identify key data and risks. The next step is the development of safety focused on the unique characteristics of a specific software used to simulate the nonlinear interaction of an engineering structure with a soil mass and the unique properties of the engineering structures being designed. After implementing the strategy, the next step will be to implement security controls to protect against known risks.

*Keywords:* modeling of nonlinear interaction, ground foundations, information security, cyber security, engineering structures, infrastructure systems.

*Аннотация.* Проблематика моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта стала особенно актуальна с развитием теоретических и практических исследований в области компьютерного моделирования, основу которого составляет программное обеспечение с большим объемом обрабатываемых и хранимых данных. Проблематика безопасности данных, используемых для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, в отличие от надлежащего выбора программного обеспечения, напрямую связана с безопасностью процессов строительства, однако в специализированной литературе данная область практически не исследована.

В статье рассмотрены теоретические основы создания систем кибербезопасности и сделан вывод о том, что на современном этапе общественного развития обеспечение безопасности данных при моделировании нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, как одного из неотъемлемых этапов строительного проектирования, имеет ключевое значение ввиду прямого влияния на безопасность при строительстве. Первым шагом к кибербезопасности данных должно стать понимание специфики эксплуатации программного обеспечения и определение ключевых данных и рисков. Следующим шагом должна стать разработка безопасности, ориентированной на уникальные характеристики конкретного программного обеспечения, используемого для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта и уникальные свойства проектируемых инженерных сооружений. После внедрения стратегии следующим шагом будет внедрение средств контроля безопасности для защиты от известных рисков.

*Ключевые слова:* моделирование нелинейного взаимодействия, грунтовые основания, информационная безопасность, кибербезопасность, инженерные сооружения, инфраструктурные системы.

**П**роблематика расчета грунтовых оснований для зданий и сооружений имеет принципиальное значение в условиях развития современной строительной отрасли. Обусловлено это рядом факторов, во-первых, технической сложностью современных инженерных сооружений. Во-вторых, освоением новых пространств для строительства на искусственных грунтах (например, намывные территории в г. Санкт-Петербурге).

Как отмечается в специализированной литературе, проблематика механики грунтов и моделирование взаимодействия инженерных сооружений с грунтом является весьма сложной задачей, поскольку требует

тщательно проработанных моделей с использованием теоретических и практических знаний в области пластичности и механики грунтов [5, 6]. С указанным мнением нельзя не согласиться, так как для моделирования взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта должно учитываться и естественное состояние пород, и нелинейная работа грунта, и недостатки в расчетах и моделях, полученные в процессе строительства конкретных инженерных сооружений.

Так, например, И.В. Нестеров и А.Д. Мерзлякова акцентируют внимание на том, что в современных реалиях моделирование нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта в современных

условиях уже не подходит под известные упрощенные расчетные схемы, основанные на теории упругости, поскольку такие схемы приводят к искажению итогового результата. Гораздо более эффективным видится подход, основанный на использовании программного обеспечения, в основу которого заложены расчетные формулы с учетом физической нелинейности [2].

Такая позиция не лишена основания, поскольку длительное время механические свойства грунта рассчитывались с учетом закона Гука (линейная теория упругости). С развитием науки и техники стало очевидным, что реальные свойства грунтов, помимо упругих свойств, обладают нелинейным свойством (грунты могут быть также вязкими, пластическими и хрупкими). Поэтому одним из основополагающих направлений, ориентированных на повышение качества проектирования инженерных сооружений с учетом состояния грунтов, стало компьютерное моделирование.

Использование в решениях проектных задач моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта с помощью компьютерного моделирования сопряжено с обработкой огромного количества информации [1]. В частности, речь идет о целой взаимосвязанной совокупности уравнений, в которых присутствуют неизвестные переменные. При этом решение нелинейных задач механики грунтов с использованием специальных компьютерных программ сопряжено с проблематикой обработки и хранения информации. Это приводит, с одной стороны, к проблеме выбора наиболее эффективного программного обеспечения. С другой стороны, остро встает проблема безопасности информации, обрабатываемой посредством программного обеспечения.

В контексте настоящего исследования вторая проблема видится особо актуальной, поскольку вопросы использования и адаптации наиболее эффективной программно-аппаратной части для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта неоднократно исследовались как зарубежными, так и отечественными исследователями.

Так, например, в работе нидерландских ученых Р.Б. Бринкгрива, У. Дж. Броера и Д. Уотермана (2004 г.), рассматривается моделирование нелинейного взаимодействия зданий и инженерных сооружений с массивом грунта посредством программного комплекса PLAXIS, в основу которого заложено моделирование нелинейного, зависящего от времени и анизотропного поведения грунтов с помощью моделей разной степени сложности [10].

В работе Л.А. Строковой, посвященной применению метода конечных элементов в механике грунтов, акцен-

тируется внимание на том, что моделирование нелинейного взаимодействия зданий и инженерных сооружений с массивом грунта достаточно успешно можно производить при использовании таких зарубежных и отечественных программ, как: ANSYS, COSMOS, NASTRAN, ПИОНЕР, ЛИРА, ПАРСЕК, ПАРУС и т.д. [3].

Проблематика безопасности данных, используемых для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, в отличие от надлежащего выбора программного обеспечения напрямую связана с безопасностью процессов строительства. При этом данная проблема в специализированной литературе практически не исследована [4, 9].

Повышение кибербезопасности в вопросах проектирования при использовании специального программного обеспечения имеет жизненно важное значение. Однако это не учитывается, на наш взгляд, из-за того, что программное обеспечение, используемое для моделирования, относят к операционным технологиям, абстрагируемым от информационных технологий, используемых компаниями-проектировщиками. При этом исторически сложилось так, что большинство систем операционных технологий, к которым относят прикладное программное обеспечение, были аналоговыми и не поддерживали интернет-протокол [7].

В современных рабочих процессах между информационными технологиями и операционными технологиями существует взаимосвязь и уязвимость в различных системах информационных технологий и операционных технологий, что может привести к необратимым последствиям. Тем не менее, безопасность информационных технологий продолжает фокусироваться на конфиденциальности, целостности и доступности критически важных данных, в то время как безопасность операционных технологий больше связана с защитой от потерь при работе с системами и программами или сохранностью данных [8].

Исходя из этого, необходима выработка подхода для оценки степени уязвимости и идентификации критических компонентов в сложной системе (ориентированной на системы взаимодействия информационных технологий и операционных технологий). В современных сложных системах недостаточно выявлять только отдельные уязвимости и угрозы — необходим комплексный подход учета рисков. Так, если операционные технологии, основанные на программном обеспечении, для моделирования станут мишенью для кибератак, то успешная атака может привести к серьезному материальному ущербу для компании-проектировщика или к гибели людей в случае, если атака не была выявлена, а при строительстве инженерных сооружений были использованы искаженные расчетные данные.

Первым шагом к обеспечению кибербезопасности данных является понимание специфики эксплуатации программного обеспечения и определение ключевых данных и рисков. Следующим шагом является разработка стратегии безопасности, ориентированной на уникальные характеристики конкретного программного обеспечения, используемого для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта. После внедрения стратегии следующим шагом будет внедрение средств контроля безопасности для защиты от известных рисков.

Одна из проблем при внедрении средств контроля безопасности программного обеспечения, используемого для моделирования, заключается в том, что могут возникнуть противоречия между другими требованиями безопасности и надежности. Например, некоторые средства контроля безопасности могут повлиять на организационные процессы, в том числе на процессы строительства (если компания занимается полным циклом работ, начиная от проектирования и заканчивая строительством), поэтому на организационном уровне необходимо обеспечение взаимодействия между всеми лицами, задействованными в организационных процессах. Так, о сбоях и атаках, связанных с возможным искажением данных, используемых для моделирования, необходимо своевременно сообщать лицам, непосредственно использующим соответствующие данные на строительных площадках.

Кроме того, для правильной оценки рисков и разработки средств контроля необходимо иметь представление об общей архитектуре обрабатываемых для моделирования данных, системных компонентах, а также о том, как они взаимодействуют друг с другом, какие протоколы они используют и какие уязвимости в них существуют.

Также в вопросах кибербезопасности необходимо учитывать аспекты, связанные с определением четких ролей и ответственности за обеспечение кибербезопасности операционных систем, основу которых составляет программное обеспечение для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта. Здесь основу стратегии составляет четкое представление о том, кто несет ответственность за конкретные задачи в области кибербезопасности и на кого будет возложена ответственность за определение ролей пользователей, обязанностей и надзора за программным обеспечением для моделирования.

Вышеуказанные задачи могут быть возложены на команды операционных технологий по кибербезопасности, которые обладают глубокими знаниями среды и архитектуры программного обеспечения и систем, чтобы должным образом оценивать риски, разрабатывать средства контроля и поддерживать реагирование на инциденты. В отелных случаях аналогичные задачи могут быть делегированы сотрудникам, отвечающим за общую информационную безопасность технологии в компании.

Ландшафт угроз для операционных технологий и программного обеспечения, составляющего их основу, постоянно меняется по мере обнаружения новых уязвимостей и разработки новых методов атак, что затрудняет обеспечение безопасности данных. При этом, учитывая многообразие программ, используемых для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, не может быть разработана одна, универсальная и адаптированная под всех система обеспечения безопасности. Учитывая разницу используемых в программах моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта данных, а также уникальные свойства проектируемых инженерных сооружений, стратегии, обеспечивающие безопасность данных при моделировании нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, в энергетической отрасли будут отличаться от стратегий, обеспечивающих безопасность данных при моделировании в нефтегазовой отрасли и иных отраслях.

Подводя итог, отметим, что на современном этапе общественного развития обеспечение безопасности данных при моделировании нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта, как одного из неотъемлемых этапов строительного проектирования, имеет ключевое значение ввиду прямого влияния на безопасность при строительстве. Первым шагом на пути к обеспечению кибербезопасности данных является понимание специфики эксплуатации программного обеспечения и определение ключевых данных и рисков. Следующим шагом должна стать разработка безопасности, ориентированной на уникальные характеристики конкретного программного обеспечения, используемого для моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с массивом грунта и уникальные свойства проектируемых инженерных сооружений. После внедрения стратегии следующим шагом будет внедрение средств контроля безопасности для защиты от известных рисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов В.В., Болдырев Ю.Я., Романов С.В., Шанина А.С. Опыт применения математического моделирования грунтовых оснований зданий и сооружений // Информатика, телекоммуникации и управление. 2010. №5 (108). С. 103–109.
2. Нестеров И.В., Мерзлякова А.Д. Особенности моделирования нелинейного взаимодействия инженерного сооружения с грунтом на адаптивных сетках конечных элементов // Сборник трудов 79 Международной научно-методической и научно-исследовательской конференции МАДИ: СЕКЦИЯ НАДЕЖНОСТИ И ПРОБЛЕМ КАЧЕСТВА В АВТОТРАНСПОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ. Москва, 2021. С. 21–28.
3. Строкова Л.А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов. Учебное пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. 143 с.
4. Стрункина М.С., Воробьева А.В. Разработка системы информационной безопасности для строительной компании // МНИЖ. 2016. №10-2 (52). С.116–118.
5. Тер-Мартirosян А.З., Мирный А.Ю., Соболев Е.С. Особенности определения параметров современных моделей грунта в ходе лабораторных испытаний // Геотехника. 2016. № 1. С. 66–72.
6. Шашкин А.Г., Шашкин К.Г. Расчеты взаимодействия высотного здания и основания с учетом нелинейных свойств конструкционных материалов и грунтов // Жилищное строительство. 2015. №9. С. 30–35.
7. Boyes H., «Security, Privacy, and the Built Environment» in IT Professional, vol. 17, №. 3, pp. 25–31, May–June 2015.
8. Ma, Z., Zhang, D., & Li, J. (2018). A dedicated collaboration platform for Integrated Project Delivery. Automation in Construction, 86, 199-209.
9. Turk, Žiga, Sonkor, M. S., & Klinc, R. (2022). Cybersecurity assessment of BIM/CDE design environment using cyber assessment framework. Journal of Civil Engineering and Management, 28(5), 349–364.
10. Brinkgreve, R.B.J., Broere, W., Waterman, D. 2008. Plaxis 2D-version 9. Finite Element Code for Soil and Rock Analyses. User Manual, Rotterdam: Balkema. URL: [https://www.researchgate.net/publication/262012153\\_Plaxis\\_2D\\_-\\_Version\\_8](https://www.researchgate.net/publication/262012153_Plaxis_2D_-_Version_8)

---

© Марковник Григорий Амиранович (g.markovnik@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ВОЗДУШНОГО ПРОСТРАНСТВА НА ОСНОВЕ ШЕСТИУГОЛЬНОЙ РЕШЕТКИ

## MODELING THE STRUCTURE OF AIR SPACE BASED ON A HEXAGONAL GRID

**D. Novichkov  
S. Fedko**

*Summary.* The peculiarity of the airspace, from the point of view of its use, is that it consists of separate elements. The combination of these elements makes up the structure of the airspace, which can change over time both for subjective reasons — when designed by specialists, and for objective reasons — due to changes in the parameters of individual elements, which is especially typical for wartime. The paper presents a technique for establishing the structure of the airspace using a hexagonal lattice graph. The influence of the safe distance on the cell size of the hexagonal lattice is considered. The dependence between the cell size and the flight parameters of aircraft has been determined. The impact of flight speed and acceleration on the safe distance between aircraft has been assessed. Numerical experiments have been carried out to calculate the size of the hexagonal lattice, taking into account various speeds and accelerations of aircraft.

*Keywords:* airspace structure, elements of airspace structure, modeling processes for establishing airspace structure, safe distance.

**Новичков Денис Вячеславович**

Преподаватель, Краснодарское высшее военное авиационное училище летчиков  
dennovkrd@mail.ru

**Федько Сергей Викторович**

Кандидат военных наук, доцент, докторант,  
Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил  
«Военно-воздушная академия имени профессора  
Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)  
fedko.S.V.78@mail.ru

*Аннотация.* Особенностью воздушного пространства, с точки зрения его использования, является то, что оно состоит из отдельных элементов. Совокупность этих элементов составляет структуру воздушного пространства, которая может изменяться во времени как по субъективным причинам — при проектировании специалистами, так и по объективным причинам — в связи с изменением параметров отдельных элементов, что особенно характерно для военного времени. В работе представлена методика установления структуры воздушного пространства с помощью графа шестиугольной решетки. Рассмотрено влияние безопасной дистанции на размер ячейки шестиугольной решетки. Определена зависимость между размером ячейки и параметрами полета воздушных судов. Проведена оценка влияния скорости полета и ускорения на безопасную дистанцию между воздушными судами. Проведены численные эксперименты для расчета размера гексагональной решетки с учетом различных скоростей и ускорений воздушных судов.

*Ключевые слова:* структура воздушного пространства, элементы структуры воздушного пространства, моделирование процессов установления структуры воздушного пространства, гексагональная решетка.

## Введение

**В**оздушное пространство (ВП) является средой для полётов летательных аппаратов, а также осуществления иной деятельности множеством разнородных пользователей ВП.

Для того, чтобы безопасно использовать ВП необходима организация его использования, которая предусматривает обеспечение безопасного воздушного движения и включает в себя несколько этапов, самый первым и важнейшим из которых является установление структуры ВП. Под структурой ВП будем понимать совокупность ограниченных в вертикальной и горизонтальной плоскости элементов ВП, предназначенных для осуществления деятельности по его использованию. Под элементами ВП подразумеваются маршруты и коридоры пролета, по которым перемещаются воздушные суда, границы запретных зон, зон ограничения полетов, районы аэродромов и другие.

Особенности установления структуры ВП в мирное и военное время будут отличаться следующим:

- сложностью структуры ВП из-за большого количества разнообразных пользователей ВП;
- динамикой структуры ВП за счет изменения положения элементов структуры ВП с определенной дискретностью;
- влиянием на структуру ВП вероятностей поражения авиации средствами ПВО.

Для учета этих особенностей в военное время необходимы новые подходы формирования структуры ВП из-за кардинальных отличий между мероприятиями установления структуры ВП в мирное и военное время, а также отсутствия методики установления структуры ВП в военное время. В связи с этим появляется необходимость разработки нового методического аппарата для военного времени.

Стоит отметить, что военное руководство США уделяет особое внимание установлению структуры ВП. Во

время операции «БУРЯ В ПУСТЫНЕ» была разработана общая система наложения сетки, известная как «kill box» для устранения конфликтов между авиацией и другими системами вооружения в перегруженном воздушном пространстве.

Результаты анализа показали, что для установления структуры ВП необходима основа, которую удобно представить в виде графа шестиугольной решетки (гексагональной сети), весовые коэффициенты вершин которого будут отражать вероятность поражения авиации системой ПВО. Методика установления структуры ВП будет включать:

1. Формализацию зоны полета (наложение на плоскость гексагональной сети пересечение линий которой будут формировать узлы, каждому из которых будут определены вероятности поражения);
2. Определение доступности ВП с учетом вероятностей поражения;
3. Формирование коридоров пролета и маршрутов полета, учитывая доступность ВП.

#### Метод формализации зоны полетов

В связи с этими особенностями появляется необходимость в разработке модели структуры ВП, которая будет отличаться действующей:

1. новой формализованной зоной полетов — основы для установления структуры ВП, в виде графа шестиугольной решетки, который будет рассматриваться не только как граф, но и геометрическая фигура, образованная точками, принадлежащими ребрам этого графа и внутренними точками всех внутренних граней, границы которых являются правильными шестиугольниками [1].
2. порядком деления ВП на отдельные элементы в зависимости от типов воздушных судов, а также их скорости.

С помощью графа шестиугольной решетки (гексагональной сети) можно определить минимально безопасную дистанцию между воздушными судами, а также устанавливать коридоры пролета, наиболее безопасные маршруты при ограниченности доступных объемов ВП в условиях, когда существует множество динамичных элементов ВП.

Известно, что центром правильной шестиугольной ячейки (гексагона) будет являться место пересечения ее диагоналей [2]. Нанесем на решетку положение двух воздушных судов в центрах соседних ячеек (рисунок 1).

Можно утверждать, что расстояние между центрами ячеек — является минимально безопасной дистанцией, которая будет зависеть от размера ячейки (рисунок 2),

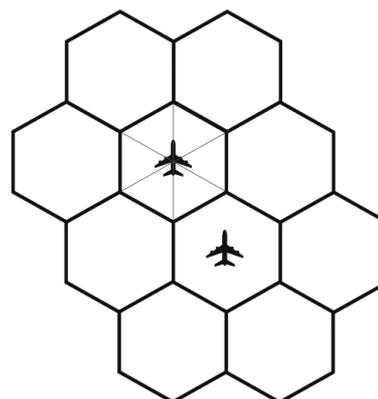


Рис. 1. Положение воздушных судов в ячейках графа шестиугольной решетки

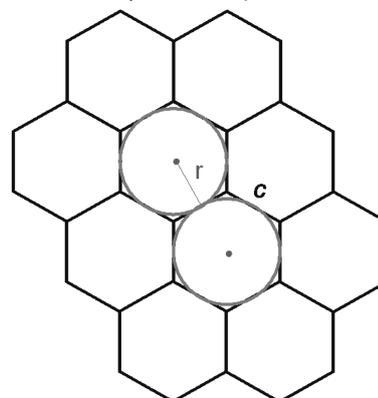


Рис. 2. Вписанные окружности ячеек, принадлежащих графу шестиугольной решетки

следовательно, от длины стороны  $c$  будет зависеть минимальная безопасная дистанция при моделировании установления структуры ВП.

Преобразовав классическую формулу нахождения радиуса вписанной окружности правильного многоугольника:  $r = \frac{c}{2 \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}}$ , в формулу для правильного ше-

стиугольника, получим:  $r = \frac{c}{2 \operatorname{tg} 30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{2} c$ , где  $r$  — радиус вписанной окружности;  $c$  — сторона правильного многоугольника;  $n$  — количество сторон многоугольника.

Так как дистанция между воздушными судами будет равна 2, выразим радиус вписанной окружности в следующей форме:  $r = \frac{Do}{2}$ ; тогда сторона правильного шестиугольника будет вычисляться по формуле:  $c = \frac{2r}{\sqrt{3}} = \frac{Do}{\sqrt{3}}$ .

Таким образом выражена зависимость между размером шестиугольной ячейки и минимальным безопасным интервалом между воздушными судами.

**Математическое моделирование**

Далее необходимо определить зависимость размера ячейки гексагональной сети от параметров движения воздушных судов. В интересах моделирования введем следующие обозначения:

ВС — воздушное судно;  $ВС_1$  — воздушное судно «Ведущий»;  $ВС_2$  — воздушное судно «Ведомый»;  $t$  — время;  $D_0$  — заданное расстояние (дистанция) между  $ВС_1$  и  $ВС_2$  во время полёта (км);  $V_0$  — заданная скорость полёта (км/мин);  $V(t)$  — мгновенная скорость (км/мин, скорость в момент времени  $t$ );  $\Delta V$  — максимальный абсолютный прирост скорости во время полёта (км/мин);  $V_{\min} = V - \Delta V$  — минимальная скорость полёта, до которой возможно непредвиденное (быстрое) уменьшение скорости  $V_0$  (км/мин, например, выключение двигателей);  $\tau$  — средний промежуток времени, в течение которого скорость  $V_0$  уменьшается до значения  $V_{\min}$ ;

$V_{\max} = V_0 + \Delta V$  — максимальная скорость полёта, до которой возможно непредвиденное (быстрое) увеличение скорости  $V_0$  (км/мин, например, движение на форсаже);  $a$  — ускорение, обеспечивающее увеличение скорости;  $\tau_a$  — средний промежуток времени, в течение которого скорость  $V_0$  увеличивается до значения  $V_{\max}$  с ускорением  $a$ .

Уменьшение дистанции  $D_0$  между  $ВС_1$  и  $ВС_2$  во время полёта из-за непредвиденных обстоятельств может произойти, например, в случае, если скорость  $ВС_1$  будет уменьшаться, а скорость  $ВС_2$  будет увеличиваться. Такое изменение скоростей (с заданным выше максимальным абсолютным изменением  $\Delta V$ ) может привести *опасному сближению*  $ВС_1$  и  $ВС_2$ , а в итоге к столкновению.

Поэтому возникает задача оценки безопасной дистанции полёта  $D_0$  с возможностью её уменьшения не более чем на  $\Pi\%$ . При переходе к нормированной величине это составляет  $0.01 \cdot \Pi \cdot D_0$ . Обозначив текущую дистанцию между  $ВС_1$  и  $ВС_2$  через  $D$ , ясно, что в описанной ситуации будет  $D < D_0$ . Следовательно, математически требуется обеспечить выполнение неравенства:  $|D - D_0| \leq 0.01 \cdot \Pi \cdot D_0$ .

Предположенную выше возможность достаточно быстрого изменения скорости  $V_0$  до значений  $V_{\min}$  и  $V_{\max}$  в течение времени  $\tau$  выразим математически. Примем линейные законы уменьшения и увеличения скоростей [3]  $ВС_1$  и  $ВС_2$  при их изменении.

В терминах рассматриваемой модели линейная функция изменения скорости имеет вид:  $y = V(t) = V_0 + kt$ , где  $k$  — угловой коэффициент прямой (тангенс угла её наклона к оси  $Ot$ , отсчитываемый против часовой стрелки). Знак коэффициента  $k$  зависит от того, является функ-

ция  $V(t)$  убывающей или возрастающей. Если  $V(t)$  убывает, то  $k < 0$ , если возрастает, то  $k > 0$  (рисунок 3):

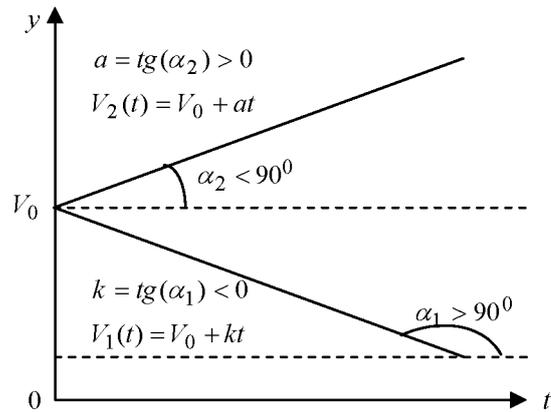


Рис. 3 Убывание и возрастание линейных функций

Постепенное уменьшение скорости  $ВС_1$  выразим функцией:  $V(t) = V_0 + kt = V_0 - |k|t$ , модуль  $|k|$  взят, чтобы подчеркнуть знаком «-» факт уменьшения скорости при  $k < 0$ ; величина  $k_1$  имеет смысл отрицательного ускорения, возникающего из-за трения воздуха при уменьшении поступления топлива в двигатель.

Постепенное увеличение скорости  $ВС_2$  с ускорением  $a$  выразим функцией:  $V_2(t) = V_0 + at$ .

При  $t = \tau$  и  $t = \tau_a$  получим:

$$V_{\min} = V_0 - \Delta V = V_1(\tau) = V_0 - |k|\tau,$$

$$V_{\max} = V_0 + \Delta V = V_2(\tau_a) = V_0 + a\tau_a.$$

Выражая из обоих уравнений  $k$  и  $a$ , приходим к равенствам:

$$|k| = \frac{\Delta V}{\tau}; \quad a = \frac{\Delta V}{\tau_a}.$$

Расстояния  $S_1$  и  $S_2$ , пройденные  $ВС_1$  и  $ВС_2$  за времена  $\tau$  и  $\tau_a$  со скоростями  $V_1(t)$  и  $V_2(t)$ , выражаются соответственно определёнными интегралами:

$$S_1 = \int_0^\tau V_1(t) dt = \int_0^\tau (V_0 - kt) dt = V_0\tau - \frac{1}{2}k\tau^2 = \left( V_0 - \frac{\Delta V}{2} \right) \tau,$$

$$S_2 = \int_0^{\tau_a} V_2(t) dt = \int_0^{\tau_a} (V_0 + at) dt = V_0\tau_a + \frac{\Delta V\tau_a}{2} = \left( V_0 + \frac{\Delta V}{2} \right) \tau_a,$$

Число

$$\sigma = S_1 + S_2 = \left( V_0 - \frac{\Delta V}{2} \right) \tau + \left( V_0 - \frac{\Delta V}{2} \right) \tau_a = 2V_0\tau - \frac{\Delta V}{2}(\tau + \tau_a)$$

примем за вероятное отклонение пары  $BC_1 \leftrightarrow BC_2$  по дистанции при прямолинейном полёте в результате изменения их скоростей.

Изобразим ситуацию опасного сближения  $BC_1$  и  $BC_2$  (рисунок 4):

В теории вероятностей известно, что вероятность того, что непрерывная случайная величина  $\bar{x}$  отклонится от своего математического ожидания  $a$  меньше чем на  $\varepsilon$ , равна [4]:  $P(|\bar{x} - a| < \varepsilon) = 2\bar{\Phi}\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right)$ , где  $\bar{\Phi}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$  — есть интегральная функция Лапласа [5].

В рассматриваемой нами модели  $\bar{x} = D$ ,  $a = D_0$ ,  $\varepsilon = 0.01 \cdot \Pi \cdot D_0$ . Так как должно выполняться требование  $|D - D_0| < 0.01 \cdot \Pi \cdot D_0$ , то имеем равенство  $\bar{\Phi}\left(\frac{0.01 \cdot \Pi \cdot D_0}{\sigma}\right) = 0.005 \cdot \Pi$ . Отсюда с помощью таблицы значений функции Лапласа [6] можно найти значение аргумента:

$$x = \frac{0.01 \cdot \Pi \cdot D_0}{\sigma}$$

Тогда безопасное расстояние  $D_0$  вычисляется по формуле:

$$D_0 = \frac{100}{\Pi} \cdot \sigma \cdot x.$$

### Численные эксперименты

Далее переходим к численным экспериментам. Проведём вычисления при следующих трёх значениях курсовых скоростей:

$$V_0 = 800 \text{ (км/ч)} = 13.33 \text{ (км/мин)},$$

$$V_0 = 850 \text{ (км/ч)} = 14.17 \text{ (км/мин)},$$

$$V_0 = 900 \text{ (км/ч)} = 15.00 \text{ (км/мин)}.$$

Выберем значение

$$\Delta V = 50 \text{ (км/ч)} = 0.833 \text{ (км/мин)}.$$

Промежуток времени  $\tau$ , в течение которого происходит замедление  $BC_1$ , зависит от его типа. Пусть  $\tau = 20$  (сек) =  $\frac{1}{3}$  (мин).

Для возможности построения таблиц безопасных расстояний между  $BC_1$  и  $BC_2$  выберем увеличение скорости  $BC_2$  при фиксированном дискретном наборе ускорений  $a_1 < a_2 < \dots < a_n$ . Пусть  $n = 5$ . Тогда определяются промежутки времени  $\tau_{aj}, j = 1, 2, 3, 4, 5$ , увеличения скорости  $V_0$  до значения  $V_{\max} = V_0 + \Delta V$  при заданном ускорении  $a_j$ :  $\tau_{aj} = \frac{\Delta V}{a_j}$ .

Пусть

$$a_1 = 10, a_2 = 20, a_3 = 30, a_4 = 40, a_5 = 50 \text{ (км/мин}^2\text{)},$$

тогда получим таблицу значений соответствующих времён:

Таблица 1.

Набор ускорений и промежутки времени увеличения скорости

	1	2	3	4	5
$a_j$ , км/мин <sup>2</sup>	10	20	30	40	50
$\tau_{aj}$ , мин	1.1471	0.708	0.472	0.354	0.283

Соответствующие значения вероятных отклонений вычисляются по формуле:  $\sigma_j = 2V_0\tau - \frac{\Delta V}{2}(\tau + \tau_{aj})$ ,  $j = 0, 1, 2, 3, 4, 5$  (таблица 2)

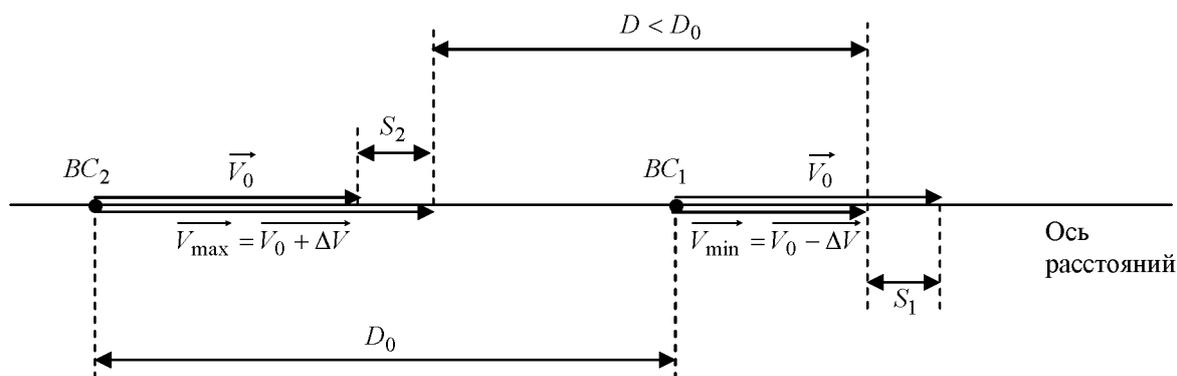


Рис. 4. Схема опасного сближения  $BC_1$  и  $BC_2$  из-за уменьшения и увеличения их курсовых скоростей соответственно

Таблица 2.

Значения вероятных отклонений

	1	2	3	4	5
$\sigma_j = 2V_0\tau - \frac{\Delta V}{2}(\tau + \tau_{aj}), \text{ км}$	8.160	8.455	8.553	8.602	8.632

Выберем значение  $\Pi = 1$  (%). Тогда

$$\bar{\Phi}\left(\frac{0.01 \cdot D_0}{\sigma}\right) = 0.005.$$

Нужная нам часть таблицы значений функции  $\bar{\Phi}(x)$  имеет вид (таблица 3):

Таблица 3.

Часть таблицы значений функции  $\bar{\Phi}(x)$

$x$	0.00	0.01	0.02	0.03
$\bar{\Phi}(x)$	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120

Значение функции  $\bar{\Phi}(x) = 0.005$  попадает в интервал между значениями  $F_1 = 0.004$  и  $F_2 = 0.008$ . Тогда соответствующее искомое значение аргумента  $x$  попадает в интервал между значениями  $x_1 = 0.01$  и  $x_2 = 0.02$ .

Для нахождения значения  $x$  применим метод линейного интерполирования, заключающийся в следующем:

отрезок  $[F_1 = 0.004, F_2 = 0.008]$  разделим на  $n$  (пусть  $n = 10$ ) равных частей точками

$$f_0 = F_1 = 0.004, f_{j+1} = f_j + \Delta f,$$

$$\Delta f = \frac{F_2 - F_1}{n} = \frac{0.008 - 0.004}{10} = 0.0004,$$

$$j = 0, 1, 2, 3, \dots, 10.$$

От точки  $f_0 = F_1 = 0.004$  до точки  $f_{10} = F_2 = 0.008$  надо «пройти» некоторое расстояние, то есть сделать определенное число шагов, последний из которых может оказаться нецелым. Обозначим через  $\alpha > 0$  множитель, на который необходимо умножить длину шага  $\Delta f$  и получим произведение  $\alpha \cdot \Delta f$ . С помощью равенства  $\bar{\Phi}(x) = 0.005$  составим уравнение:

$$\bar{\Phi}(x) = F_1 + \alpha \cdot \Delta f = 0.004 + \alpha \cdot 0.0004 = 0.005,$$

отсюда находим:

$$\alpha = \frac{F_2 - F_1}{\Delta f} = \frac{0.005 - 0.004}{0.0004} = 2.5.$$

Аналогично разбив отрезок  $[x_1 = 0.01, x_2 = 0.02]$  на  $n = 10$  частей, получим шаг:

$$\Delta x = \frac{x_2 - x_1}{n} = \frac{0.02 - 0.01}{10} = 0.001..$$

Тогда искомое значение аргумента  $x$  равно:

$$x = x_1 + \alpha \cdot \Delta x = 0.01 + 2.5 \cdot 0.001 = 0.013.$$

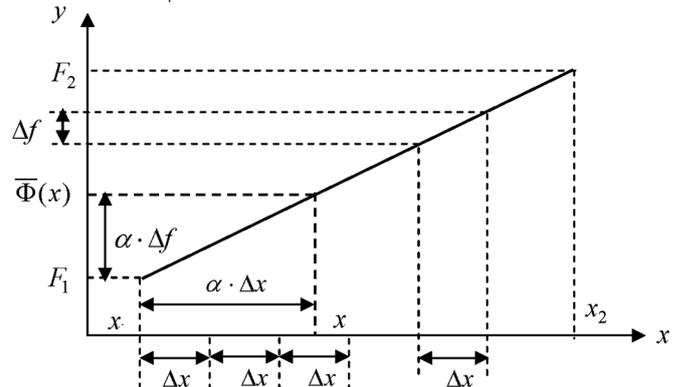


Рис. 5. Графическая иллюстрация метода линейного интерполирования

Теперь находим  $D_{0j}$  по формуле:

$$D_{0j} = \frac{100}{\Pi} \cdot \sigma_j \cdot x = 100 \cdot \sigma_j \cdot x.$$

После чего подставляем  $D_{0j}$  в формулу для расчета стороны ячейки  $c = \frac{D_0}{\sqrt{3}}$  и получаем сводную таблицу (таблица 4):

Таблица 4.

Сводная таблица безопасных дистанций для курсовых скорости 800 (км/ч), 850 (км/ч), 900 (км/ч)

	1	2	3	4	5	
$a_j, \text{ км/мин}^2$	10	20	30	40	50	
$\tau_{aj}, \text{ мин}$	1.147	0.708	0.472	0.354	0.283	
$\sigma_j = 2V_0\tau - \frac{\Delta V}{2}(\tau + \tau_{aj}), \text{ км}$	800	8.160	8.455	8.553	8.602	8.632
	850	8.715	9.010	9.109	9.158	9.187
	900	9.271	9.566	9.664	9.714	9.743
$D_{0j} = \frac{100}{\Pi} \cdot \sigma_j \cdot x, \text{ км}$	800	10.200	10.569	10.692	10.753	10.790
	850	10.894	11.263	11.386	11.447	11.484
	900	11.589	11.957	12.080	12.142	12.179
$c, \text{ мм}$	800	5.89	6.1	6.17	6.2	6.23
	850	6.29	6.5	6.57	6.61	6.63
	900	6.69	6.9	6.97	7.01	7.03

На заключительном этапе, на основе расчетов строится гексагональная сеть вычисленного размера, являющаяся основой для дальнейшего установления структуры ВП.

### Выводы

В результате работы была разработан метод формализации зоны полетов для дальнейшего установления

структуры ВП на основе графа шестиугольной решетки (гексагональной сети), рассчитана минимальная безопасной дистанции на основе метода линейного интерполирования, с помощью которой установлена зависимость размера шестиугольной решетки от параметров полета ВС.

Результат работы может быть использован в процессе моделирования процесса установления структуры ВП, расчета коридоров пролета и проектирования маршрутов полета ВС, основываясь на доступности ВП, вычисляемой с помощью расчета вероятностей поражения в вершинах графа шестиугольной решетки.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Иржавский П.А., Циклические свойства топологических графов шестиугольной решётки. Дискретный анализ и исследование операций. 2015, том 22, выпуск 2. С. 27–48.
2. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://wiki.fenix.help/matematika/radius-okruzhnosti-vpisannoj-v-pravilnyj-shestiugolnik> (дата обращения 24.03.2024).
3. Электронный ресурс. Режим доступа: [https://www.sch2.ru/images/Metod\\_materials/lin\\_func.pdf](https://www.sch2.ru/images/Metod_materials/lin_func.pdf) (дата обращения 24.03.2024)
4. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.stat.cmu.edu/~larry/=stat325.01/chapter5.pdf> (дата обращения 24.03.2024).
5. Гутова, Е.В. Вычисление интегральной функции Лапласа с помощью ряда Маклорена. Актуальные вопросы фундаментальных наук в техническом ВУЗе: Сборник научных статей. Выпуск 3. 2021. С. 223–227.
6. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://kvm.gubkin.ru/pub/fan/laplasetable2.pdf> (дата обращения 24.03.2024)

---

© Новичков Денис Вячеславович (dennovkrd@mail.ru); Федько Сергей Викторович (fedko.S.V.78@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ВЫБОР МЕТОДА СБОРА СТАТИСТИКИ В VK API: АНАЛИЗ CALLBACK API И LONG POLL API

### CHOOSING A METHOD FOR COLLECTING STATISTICS IN THE VK API: ANALYSIS OF THE CALLBACK API AND LONGPOLL API

**A. Pimanov  
V. Samokhina**

*Summary.* The documentation for developers of the VK social network describes its two main tools for receiving and processing events. This article provides a comparative analysis of two methods of interaction with VK API — Callback API and Long Poll API — in the context of collecting statistics in group chats. Both methods allow you to monitor user activity and collect various data about messages, but each of them has its own characteristics and advantages.

The purpose of this material is to determine the optimal method for collecting statistics. The article discusses the technical features and examples of the use of both methods, as well as provides recommendations for choosing the most appropriate option, depending on the initial conditions. The results obtained are valuable for developers interested in integrating with the VK API. They will help you make more informed decisions when choosing tools for project implementation, ensuring more effective achievement of your goals.

*Keywords:* VK, API, Callback, LongPoll, script, event.

Существует два основных способа взаимодействия с VK API: Callback API и Long Poll API. Оба инструмента описывают формат обмена данными между клиентом и социальной сетью.

Callback API — инструмент отслеживания активности, в котором передача данных инициируется после возникновения одного из событий на которое была оформлена подписка. Сервер обращается к клиенту, сообщая об активности и прикладывает сопутствующую информацию. Основное различие между этими двумя инструментами заключается в том, какая сторона принимает активное участие в обмене данными. В Long Poll API активную позицию занимает клиент, так как он опрашивает сервер для сбора прошедших событий.

Выбор одного из инструментов определит разницу в механизмах взаимодействия между клиентом и сервером,

**Пиманов Андрей Евгеньевич**  
Технический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» в г. Нерюнгри  
epimanov15@gmail.com

**Самохина Виктория Михайловна**  
Доцент, кандидат педагогических наук, Технический институт (филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова» в г. Нерюнгри  
vsamokhina@bk.ru

*Аннотация.* В документации для разработчиков социальной сети VK описано два её основных инструмента для получения и обработки событий. В данной статье проводится сравнительный анализ двух методов взаимодействия с VK API — Callback API и Long Poll API — в контексте сбора статистики в групповых чатах. Оба метода позволяют производить мониторинг активности пользователей и собирать различные данные о сообщениях, но каждый из них имеет свои недостатки и преимущества.

Цель данного материала заключается в определении оптимального метода для сбора статистики. В статье рассматриваются технические особенности и примеры использования обоих методов, а также представлены рекомендации по выбору наиболее подходящего варианта в зависимости от исходных условий. Полученные результаты представляют ценность для разработчиков, заинтересованных в интеграции с VK API. Они помогут принимать более обоснованные решения при выборе инструментов для реализации проектов, обеспечивая более эффективное достижение поставленных целей.

*Ключевые слова:* VK, API, Callback, LongPoll, скрипт, событие.

ром, а также в наборе данных, которые предоставляет социальная сеть.

При рассмотрении двух инструментов VK API: Callback API и Long Poll API — для сбора статистики в групповых чатах, было принято решение использовать PHP для демонстрации различий обоих способов взаимодействия. Этот выбор обусловлен простотой и широкой поддержкой языка.

В данном контексте, стоит упомянуть и другие популярные языки программирования и объяснить почему, демонстрационные примеры представлены только на PHP.

Поддержка VK API существует в Java, но является менее широкой и документированной, чем для PHP. Java

Таблица 1.  
Сравнение Callback API и Long Poll API

Характеристика	Callback API	Long Poll API
Способ получения обновлений	Ожидание асинхронного вызова от VK	Опрос сервера VK с заданным интервалом
Требуемые настройки	Необходимо настроить сервер для принятия HTTP-запросов от VK	Не требуется настройка сервера, но требуется выполнение HTTP-запросов к VK
Задержка обновлений	Обновления приходят практически мгновенно	Есть задержка между запросами на сервер VK и получением обновлений
Надежность	Более надежный, поскольку обновления не пропускаются при правильной настройке сервера	Менее надежный из-за возможности пропуска обновлений при сбоях сети или сервера
Загрузка сервера	Большая, поскольку сервер должен постоянно быть готов к приему запросов от VK	Меньше, поскольку запросы на сервер VK отправляются по мере необходимости
Объем трафика	Меньше, так как обновления поступают только при наличии событий	Больше, из-за постоянных запросов к серверу VK
Подходит для	Приложений, где важна скорость реагирования на события	Приложений, где не так критично время реакции на события

обычно требует более объёмных структур, приводящих к существенному увеличению длины кода для достижения тех же целей, что и PHP. Java не так проста в освоении для новичков и может потребовать больше времени на разработку.

Python также имеет поддержку VK API, но уровень документации и актуальности библиотек является не таким высоким. В некоторых случаях Python может быть медленнее PHP из-за своей интерпретируемой природы. В контексте сбора статистики, где высокая производительность не критична, выбор PHP может быть предпочтительнее из-за более широкого опыта работы веб-разработчиков с этим языком.

Возможно, самый близкий аналог PHP среди языков программирования, используемых на стороне сервера (в контексте решения задачи — клиента), является Node.js. В то же время, Node.js обеспечивает асинхронную обработку событий, но для использования VK API он все равно требует сторонних библиотек, которые могут быть менее стабильными или менее документированными.

В результате PHP является самым предпочтительным выбором для реализации интеграции с VK API, что обус-

ловлено его широкой поддержкой и обширной документацией.

В рамках решения задачи, потребуется не только реализовать сбор статистики, но и обеспечить её хранение. Для этого можно использовать любую реляционную базу данных. Каждая таблица должна описывать чат в социальной сети. Структура такой таблицы представлена ниже:

Таблица 2.  
Структура таблицы группового чата

Наименование	Тип данных	Описание
user_id	int	Уникальный числовой идентификатор пользователя в социальной сети, полю задан первичный ключ
messages	int	Количество отправленных пользователем сообщений
messages_length	int	Длина в символах всех отправленных пользователем сообщений

Выбор конкретной системы управления базами данных не имеет особого значения, поскольку рассматриваемая задача не предъявляет высоких требований к функциональности СУБД. Более того, предпочтительно выбирать широко используемые решения для обеспечения простоты в разработке. Именно поэтому для решения задачи рассматривается одна из наиболее распространённых СУБД — MySQL. MySQL широко применяется в веб-разработке, имеет обширное сообщество пользователей и разработчиков, а также обладает хорошей документацией и множеством инструментов для работы с базами данных.

Первой рассмотрена реализация скрипта с помощью Callback API, так как она является наиболее простой.

Чтобы реализовать скрипт, собирающий статистику активности в беседах VK посредством Callback API, в первую очередь необходимо предусмотреть в данном алгоритме механизм подтверждения адреса сервера. Этот шаг необходим для обеспечения соответствия фактического адреса сервера, с адресом, указанным в параметрах Callback API.

Для хранения строки подтверждения, которую сервер должен будет вернуть, в случае получения соответствующего события, следует завести переменную \$confirmation\_token, содержащую эту строку подтверждения.

Следующим шагом необходимо получить и декодировать событие от VK, а обработанный результат сохранить в переменную. Сделать это можно следующим способом:

Листинг 1

```
$data = json_decode(file_get_contents('php://input'));
```

Скрипту предстоит обрабатывать только два типа событий: confirmation (подтверждение адреса сервера) и message\_new (входящее сообщение). Тип входящего события хранится в \$data->type. Обработку событий разных типов можно реализовать с помощью switch-case, как это показано ниже:

Листинг 2

```
switch ($data->type) {
    // Если это уведомление для подтверждения адреса,
    // отобразить строку подтверждения
    case 'confirmation':
        echo $confirmation_token;
        break;
    case 'message_new':
        // Здесь размещён код, для обработки события входящего
        // сообщения
        break;
}
```

Код выше полностью описывает только работу с событием confirmation. В случае получения события данного типа, будет выведена строка подтверждения адреса сервера, что позволит его верифицировать. Работу с событием message\_new следует начать с проверки: является ли источником сообщения групповой чат. Это можно узнать посмотрев на идентификатор источника сообщения, который хранится в \$data->object->message->peer\_id. Если он меньше 2000000000, это значит, что сообщение поступило из личных сообщений. В таком случае следует завершить выполнение скрипта командой exit('ok'). Очень важно вывести сообщение «ок», чтобы избежать получения одного и того же события от VK несколько раз. Отсутствие данного вывода укажет на то, что клиенту не удалось получить входящее событие.

Работу непосредственно с базой, данной в рамках события message\_new следует начать с создания подключения к базе данных. Для СУБД MySQL создать подключение можно следующим образом:

Листинг 3

```
$mysqli = new mysqli('localhost', 'statistics_user',
'statistics_password', 'statistics');
```

Если таблицы для хранения статистики беседы не существует, её необходимо создать. Вначале данного действия следует проверить существование таблицы с помощью запроса:

Листинг 4

```
$result = $mysqli->query(«SELECT * FROM `information_
schema`.`tables` WHERE table_schema = 'statistics' AND
table_name = '{$data->object->message->from_id}' LIMIT
1»);
```

В переменной \$result будет сохранён объект. Обратившись к полю объекта \$result->num\_rows можно узнать количество строк, полученных в результате выполнения запроса. Если запрос не вернёт ни одной строки, это будет говорить о том, что данной таблицы не существует и её необходимо создать. Для этого можно использовать запрос ниже:

Листинг 5

```
CREATE TABLE `statistics`.`{$data->object->message-
>peer_id}` ( `user_id` INT NOT NULL , `messages` INT
NOT NULL DEFAULT '0' , `messages_length` INT NOT NULL
DEFAULT '0' , PRIMARY KEY ( `user_id` )) ENGINE = InnoDB;
```

Придерживаясь точно такой же последовательности, следующим шагом необходимо проверить существование записи в таблице, для пользователя, отправившего сообщение. В этом случае поменяются только запросы. Первый запрос будет выглядеть следующим образом:

Листинг 6

```
«SELECT * FROM `{$data->object->message->peer_id}`
WHERE `user_id` = {$data->object->message->from_id}».
```

Второй запрос будет выглядеть следующим образом:

Листинг 7

```
«INSERT INTO `{$data->object->message->peer_id}`
( `user_id` , `messages` , `messages_length` ) VALUES ( '{$data-
>object->message->from_id}' , '0' , '0' )».
```

В поле \$data->object->message->from\_id хранится идентификатор пользователя отправившего сообщение.

Обновить количество сообщений и их суммарную длину можно следующим образом:

Листинг 8

```
UPDATE `{$data->object->message->peer_id}`
SET `messages` = `messages` + 1, `messages_length`
= `messages_length` + « . mb_strlen($data->object-
>message->text) . « WHERE `user_id` = {$data->object-
>message->from_id}
```

Финальным шагом при работе с Callback API должен стать вывод сообщения «ок». Если этого не сделать, VK отправит тот же запрос клиенту ещё несколько раз.

Реализация данного алгоритма посредством Long Poll API существенно отличается. На старте необходимо инициализировать переменные `$access_token` (токен сообщества), `$group_id` (идентификатор сообщества, положительное число) и `$api_version` (версия API). Следующим шагом создаётся подключение к базе данных. Делается это сразу, так как скрипт будет выполняться до его принудительной остановки.

С помощью метода `messages.getLongPollServer` необходимо получить набор данных включающий поля `key` (секретный ключ сессии), `server` (адрес сервера быстрых сообщений) и `ts` (номер последнего события). Извлечь и сохранить этот набор можно следующим образом:

Листинг 9

```
$data = json_decode(file_get_contents(«https://api.vk.com/method/groups.getLongPollServer?group_id={$group_id}&access_token={$access_token}&v={$api_version}»));
```

Значения ключа, сервера и метки времени хранятся соответственно в полях объекта `$data->response->key`, `$data->response->server` и `$data->response->ts`. Остальная часть кода должна располагаться в бесконечно выполняющемся цикле `while (true)`. Это позволяет прослушивать VK, для получения событий. В переменную `$updates` будет записан результат прослушивания сервера мгновенных сообщений. В качестве параметров по этому адресу будут переданы значения полей `key` и `ts`. Реализовано это следующим образом:

Листинг 10

```
$updates = json_decode(file_get_contents(«{$server}?act=a_check&key={$key}&ts={$ts}&wait=25»));
```

В данном наборе хранится массив событий, произошедших с последнего изменения параметра `ts`. В контексте LongPoll термин «`ts`» обычно означает «временную метку» (timestamp). Это значение представляет собой момент времени последнего события или обновления, полученного клиентом от сервера. При использовании LongPoll, клиент отправляет запрос на сервер и ждет ответа. Если на сервере нет новых данных для передачи клиенту, сервер может задерживать ответ (длинный опрос) до тех пор, пока не произойдет событие или обновление.

Когда происходит событие или обновление, сервер отправляет ответ клиенту с новыми данными и обновленной временной меткой (`ts`). Эта временная метка указывает клиенту, какие данные были получены последними. В связи с этим необходимо передавать актуальное

значение параметра `ts`, обновляя его при каждом выполнении цикла.

Для одного значения `ts` может быть возвращено несколько событий. Наиболее эффективно их можно перебрать с помощью цикла `foreach`, следующим образом:

Листинг 11

```
foreach ($updates->updates as $update) {
    // Проверка типа события
    if ($update->type != 'message_new') {
        continue;
    }
    // Проверки источника сообщения
    if ($update->object->message->peer_id < 2000000000)
    {
        continue;
    }
    // Здесь располагается код сбора статистики
}
```

В данном коде уже встречаются проверки, реализованные в скрипте, использующем Callback API. Проверяется, что полученное событие представляет собой новое сообщение, а его инициатором является пользователь из группового чата. На месте последнего комментария располагается код учёта статистики беседы, с тем лишь изменением, что источником данных становится переменная `$update`. После завершения цикла `foreach`, цикл `while` начинается заново.

Оба скрипта предназначены для сбора статистики об общении пользователей в групповых чатах, однако можно выделить различия в назначении используемых инструментов и их эффективности в зависимости от задачи.

Второй скрипт выполняет бесконечный цикл, который ожидает и обрабатывает обновления, тогда как первый скрипт лишь ожидает новые события и запускается только при их получении. Для первого скрипта нет необходимости в постоянном опросе сервера, что делает его устройство более простым. Реализация через Long Poll API больше нагружает сервер и потребляет больше трафика, так как требует постоянной работы скрипта и, если события приходят не часто, эффективность данного скрипта снижается. Важным различием так же станет то, что первый скрипт существенно требовательнее к архитектуре, выстроенной вокруг него. Он не сможет функционировать, если VK не будет иметь возможности напрямую обращаться к клиенту. Для чего понадобится статичный IP адрес. Таким образом, простота в устройстве первого скрипта нивелируется потребностью в дополнительных инструментах.

Callback API подходит для обработки сообщений в реальном времени, так как сервер VK немедленно отправляет уведомления клиенту о новых событиях. Он неэффективен для больших объемов данных или частых запросов, так как требует постоянного подключения к серверу VK и базе данных. Может иметь задержку при обработке большого количества событий, особенно при использовании общедоступных серверов.

Long Poll API эффективен для непрерывной обработки сообщений в беседах или группах с большим трафиком, так как он использует длинные запросы к серверу.

Позволяет мгновенно реагировать на новые сообщения без необходимости ожидания уведомлений от сервера. Может потреблять больше ресурсов, особенно при обработке большого объема данных или при работе на общедоступных серверах.

В целом, для небольших сообществ или при небольшом трафике Callback API может быть более простым и эффективным вариантом, в то время как Long Poll API лучше подходит для более крупных и активных сообществ.

---

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Официальный веб-сайт VK, раздел «Для разработчиков» [Электронный ресурс]. URL: <https://dev.vk.com/ru/reference> (дата обращения: 08.04.2024).
2. Официальный веб-сайт «php.net», раздел «Руководство по PHP» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.php.net/manual/ru/index.php> (дата обращения: 08.04.2024).
3. Пиманов, А.Е. Возможности языка программирования VKScript / А.Е. Пиманов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. — 2023. — № 7. — С. 123–126. — DOI 10.37882/2223-2982.2023.07.30. — EDN GGFGZW.
4. Джеймс Р. Грофф, Пол Н. Вайнберг, Эндрю Дж. Оппель. SQL. Полное руководство. — Вильямс, 2018. С. 95–148.
5. Кузнецов М.В., Симдянов И.В. Самоучитель PHP 7. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. С. 143–151.

---

© Пиманов Андрей Евгеньевич (epimanov15@gmail.com); Самохина Виктория Михайловна (vsamokhina@bk.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ И ИССЛЕДОВАНИЙ

## DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR GEODETIC CALCULATIONS AND RESEARCH

**O. Pleskacheva**  
**B. Pruss**  
**V. Romanov**  
**G. Soboleva**

*Summary.* The article describes the developed information system that allows for geodetic calculations. The developed system has a convenient interface and a sufficient number of functions that allow the user to obtain solutions both in numerical form and in the form of graphic images. Using the developed system, the main geodetic problems studied by students as part of the geodesy course are solved. The results of testing the information system show that it correctly and accurately performs the required calculations, and at the same time, the system itself is convenient and easy to use.

*Keywords:* information system, automation of calculations, geodesy.

Топографические карты и планы являются носителями информации для строителей и архитекторов. Они служат основой при проектировании зданий и инженерных сооружений, а также при планировке и благоустройстве городов и населенных пунктов [1]. При этом для их составления необходимо проводить геодезические измерения и расчеты, которые включают в себя методы и технологии для точного определения географических координат точек, расстояний и углов между ними. Автоматизация данных расчетов является важной задачей. При этом имеющиеся комплексы [2, 3] не всегда достаточно удобны для использования в учебном процессе, так как они разработаны для профессиональных геодезистов и рассчитаны на подготовленных специалистов, имеющих опыт работы. Перед нами же стояла задача создания информационной системы удобной для использования в учебном процессе с возможностью представления геодезических расчетов не только в числовом, но и графических форматах.

**Плескачева Ольга Юрьевна**

Кандидат педагогических наук, доцент, ФГБОУ ВО  
«Брянский государственный технический университет»  
pleskacheva@inbox.ru

**Прусс Борис Наумович**

Кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-  
технологический университет»  
prussbor@gmail.com

**Романов Виктор Александрович**

Кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-  
технологический университет»  
vromanov62@mail.ru

**Соболева Галина Николаевна**

Кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-  
технологический университет»  
soboleva.g.n@mail.ru

*Аннотация.* В статье описана разработанная информационная система, позволяющая осуществлять геодезические расчеты. Разработанная система имеет удобный интерфейс и достаточное количество функций, позволяющих пользователю получать решения как в числовом виде, так и в виде графических изображений. С помощью разработанной системы решаются основные геодезические задачи, изучаемые студентами в рамках курса геодезии. Результаты апробации информационной системы показывают, что она корректно и точно выполняет требуемые расчеты и при этом сама система удобна и проста в обращении.

*Ключевые слова:* информационная система, автоматизация расчетов, геодезия.

Для решения данной задачи нами было принято решение о разработке информационной системы геодезических расчетов, которая позволила бы оперативно и качественно их выполнять и позволяла студентам овладеть методами обработки геодезических измерений [4].

После обзора специализированной и учебной литературы нами определялись задачи, которые будут решаться разрабатываемой системой. Исходя из этого были определены модули входящие в информационную систему.

В информационной системе изначально будут реализованы следующие задачи:

1. Базовые геодезические задачи:
  - 1.1. Прямая геодезическая задача;
  - 1.2. Обратная геодезическая задача;
2. Специализированные геодезические задачи:

- 2.1. Расчет дирекционного угла;
- 2.2. Поиск точки пересечения двух прямых.
- 3. Задачи на объем:
  - 3.1. Вычисление объема цилиндра (горизонтальный);
  - 3.2. Вычисление объема цилиндра (вертикальный).
- 4. Операции с градусами:
  - 4.1. Нормализация угла/направления;
  - 4.2. Нормализация широты;
  - 4.3. Нормализация долготы.
- 5. Преобразования:
  - 5.1. Преобразование координат из ПЗ-90 в WGS-84;
  - 5.2. Преобразование координат из WGS-84 в ПЗ-90;
  - 5.3. Преобразование координат из геодезической СК в СК Гаусса — Крюгера;
  - 5.4. Преобразование координат из СК Гаусса — Крюгера в геодезическую СК.
- 6. Вычисления:
  - 6.1. Расстояние от точки до створной линии;
  - 6.2. Координаты точек от створной линии;
  - 6.3. Вычисление площади фигуры по её координатам.

Затем нами осуществлялось проектирование данной системы, в ходе которого определялись средства разработки, прорабатывалась ее архитектура, интерфейс [5], система динамических модулей, система вспомогательных средств и фреймворка автоматических вычислений (см. рис. 1).



Рис. 1. Архитектура разрабатываемого проекта

Ввиду того, что система будет решать довольно большое количество различных задач и возможно потребуется расширение ее базового функционала, было принято решение о соответствии принципам SOLID, что в будущем позволит довольно быстро добавлять или изменять список выполняемых программой задач.

В качестве основного языка разработки данного приложения был выбран Python, так как для данного проекта он имеет ряд преимуществ. Первое, но не самое важное из них, это рефлексия времени выполнения, благодаря которой становится возможным динамическое изменение программы.

В то же время, если бы был выбран язык без поддержки рефлексии времени выполнения разработка программы была бы затруднена, так как скорее всего

пришлось бы с нуля разрабатывать динамическую загрузку модулей. Также важным преимуществом Python является кроссплатформенность, позволяющая использовать стандартные динамические загружаемые библиотеки [6].

В качестве инструмента разработки была выбрано решение от компании JetBrains Community Edition 2022, так как его интерфейс достаточно удобен для разработки приложений на Python, а также он предоставляет удобные вспомогательные функции для разработчиков. При создании графической части приложения была выбрана библиотека PySide6 и входящие в нее компоненты (PySide6 — Designer, PySide6 — RCC, PySide6 — UIC).

Говоря об архитектуре следует отметить, что системе может потребоваться расширение функционала, в дополнении к решению стандартных задач. Для удобства работы в таких условиях потребуется разработать систему динамических модулей, при каждой загрузке программы они будут автоматически загружаться в неё. Внутри этой системы каждый модуль будет «притворяться» самостоятельным приложением и «забирать» управление всем приложением.

В качестве «базы» этих модулей будет выступать система базового приложения, она будет предоставлять базовый интерфейс и различные опции для взаимодействия пользователей с модулями.

Две перечисленные выше системы фактически являются фронтендом приложения и выносить в них довольно громоздкие геодезические вычисления (учитывая довольно большое количество валидаций входных значений) и как следствие «раздувать» код модулей (а также нарушать принципы SOLID), кажется не очень хорошей практикой, поэтому следующей архитектурной частью программы станет фреймворк геодезических вычислений.

Также для облегчения написания кода модулей разработана вспомогательная подсистема с различными функциями. В нее включены «функции-помощники», такие как, стандартное поведение при загрузке и отображении модуля и различный функционал для взаимодействия модулей с базовой программой.

При разработке базового приложения и проектировании его интерфейса следует помнить о том, что требуется место для динамически загружаемых модулей, для интерфейса самого модуля и место для его справочной информации, а также следует выделить место для отображения карты, на которую модули будут (опционально) выводить полученный результат. Это облегчает освоение и использование программы пользователями с разными навыками работы.

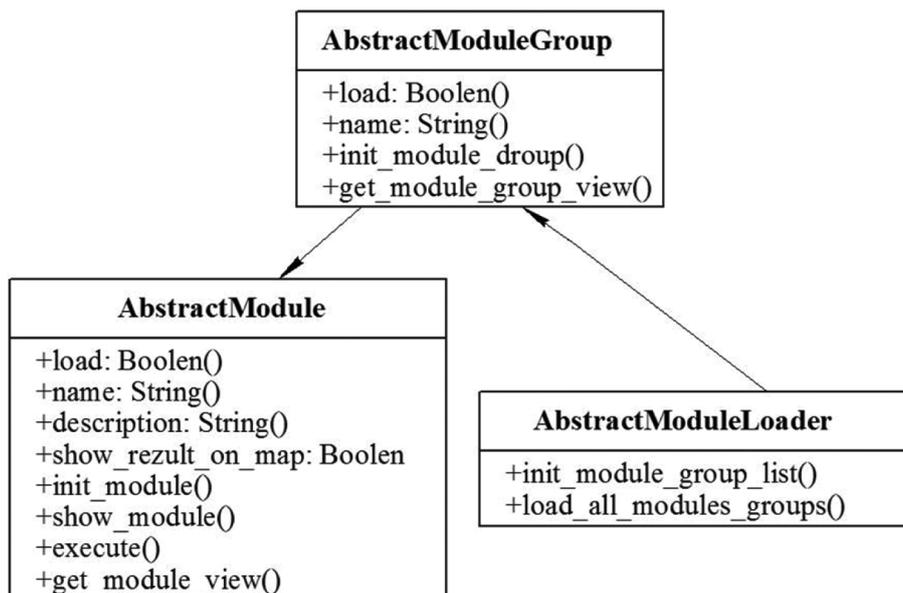


Рис. 2. Структура динамической системы загрузки модулей

Для обеспечения работоспособности и единообразия всей модульной системы нами разработаны отвечающие всем требованиям подсистемы базовые классы описанных выше компонентов, а именно AbstractModuleGroup, AbstractModule и AbstractModuleLoader (см. рис. 2).

Таким образом, базовое приложение взаимодействует с системой динамических модулей, с помощью загрузчика модулей, который в свою очередь загружает модули объединенные в логические группы.

Следующим этапом разработки информационной системы стало проектирование и создание системы вспомогательных инструментов (см. рис. 3).

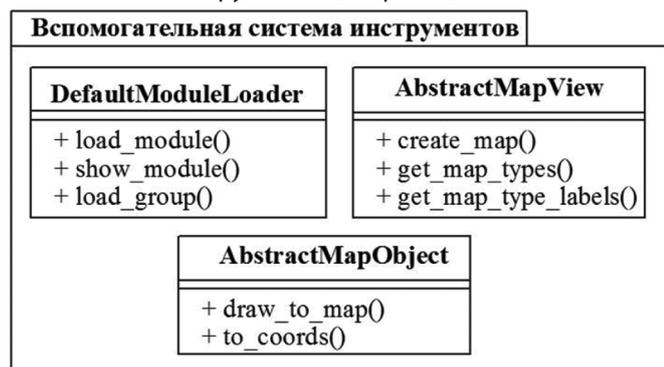


Рис. 3. Структура вспомогательной системы инструментов

Для удобства разработки и значительного сокращения кода стандартные действия вынесены в отдельный класс DefaultModuleLoader, который имеет три метода:

1. LoadModule — загрузка и добавление модуля в общий интерфейс программы;
2. ShowModule — стандартная политика отображения модуля;

3. LoadGroup — стандартная политика загрузки всей группы и её последующего отображения.

При проектировании базового приложения было решено добавить в него карту для наглядного отображения результатов геодезических вычислений. Следует учесть, что возможно в будущем в данное приложение потребуется добавить различные представления карт (карта местности, карта планеты и т.п.), для этого опять же потребуется унификация интерфейса карты, класс AbstractMapView.

Данный абстрактный класс содержит три статических метода:

1. CreateMap — «главный» метод, будет обрабатывать создание карты и отображения на ней заданных параметров;
2. GetMapTypes — метод, возвращающий типы данного представления карт (например, карта планеты может быть представлена в нескольких типах: географическая, политическая, карта высот и т.п.);
3. GetMapTypesLabels — метод, возвращающий названия доступных типов данного представления карты.

Также для унификации объектов на карте (маркер, линия) создан абстрактный класс AbstractMapObject с двумя методами:

1. DrawToMap — метод, ответственный за отображение объекта на карте;
2. ToCoords — метод, возвращающий координаты объекта.

Соответственно, чтобы описать систему вычислений, нужно сначала рассмотреть систему типов, вводимую в фреймворке (см. рис. 4).

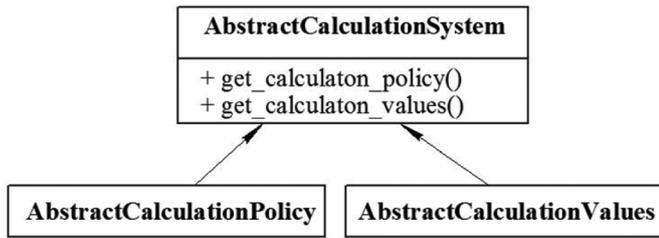


Рис. 4. Структура системы вычислений

Так как, теоретически, у разных представлений карт могут быть различные ограничения (например, у планетарной карты предел значений широты варьируется в диапазоне (от -90 до 90), у карты определенной местности диапазон может быть существенно уже, или же это может быть «бесконечная» карта в виде декартовой системы координат) проектируемый геодезический фреймворк будет спроектирован с учётом этого обстоятельства (см. рис. 5). Внутри него будет введено такое понятие как «система вычислений», она будет состоять из двух элементов:

1. Политики вычислений;
2. Предельных вычислительных значений.

Базовым типом каждого вводимого типа является AbstractMapData, содержащий всего один абстрактный метод — validate, как ясно из названия он должен отвечать за проверку значения данного типа (например, проверка соответствует ли широта диапазону (-90; 90)). У этого абстрактного класса есть довольно большое количество абстрактных потомков, именно они и составляют ядро системы типов внутри библиотеки. Рассмотрим систему типов более подробно. В нее входят следующие классы: AbstractPoint (точка на карте), AbstractLatitude (широта), AbstractLongitude (долгота), AbstractDistance (расстояние), AbstractAngle (угол/направление). Так как они все являются наследниками класса AbstractMapData — все они, а также их наследники должны переопределять метод validate, проводящий для каждого типа свою проверку на корректность введенных данных, помимо этого каждый класс имеет get — метод для получения внутреннего (числового) представления каждого типа.

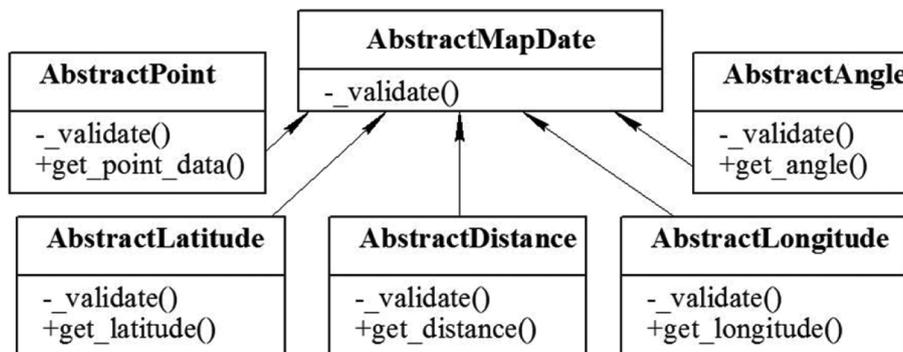


Рис. 5. Структура системы типов геодезического фреймворка

Для каждой вычислительной системы будет определен свой класс-наследник каждого из этих абстрактных методов (например, для системы вычислений на реальной карте: RealLatitude, RealLongitude и т.п.).

После небольшого экскурса в систему типов можно приступить к объяснению принципа работы политики вычислений (см. рис. 6). Класс AbstractCalculationPolicy имеет следующие свойства — методы:

1. PointType — возвращает тип точки в вычислительной системе;
2. LatitudeType — возвращает тип широты в вычислительной системе;
3. LongitudeType — возвращает тип долготы в вычислительной системе;
4. DistanceType — возвращает тип дистанции в вычислительной системе;
5. AngleType — возвращает тип угла/направления в вычислительной системе.

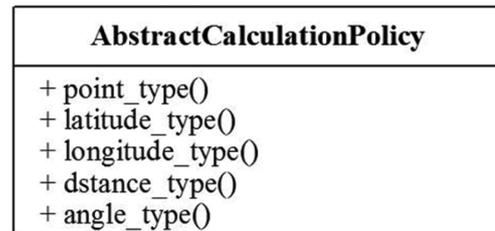


Рис. 6. Структура политики вычислений

В вычислительных геодезических задачах данный фреймворк получает данные типы и на их основе валидирует входящие значения в заданной вычислительной системе.

После создания всех перечисленных модулей нами было проведено тестирование системы и проверена правильность расчетов (см. рис. 7).

Все расчеты выполнены правильно и результаты представлены в требуемой форме. Данная система может использоваться как для геодезических расчетов, так и в учебном процессе. Безусловным преимуществом разрабатываемой информационной системы является

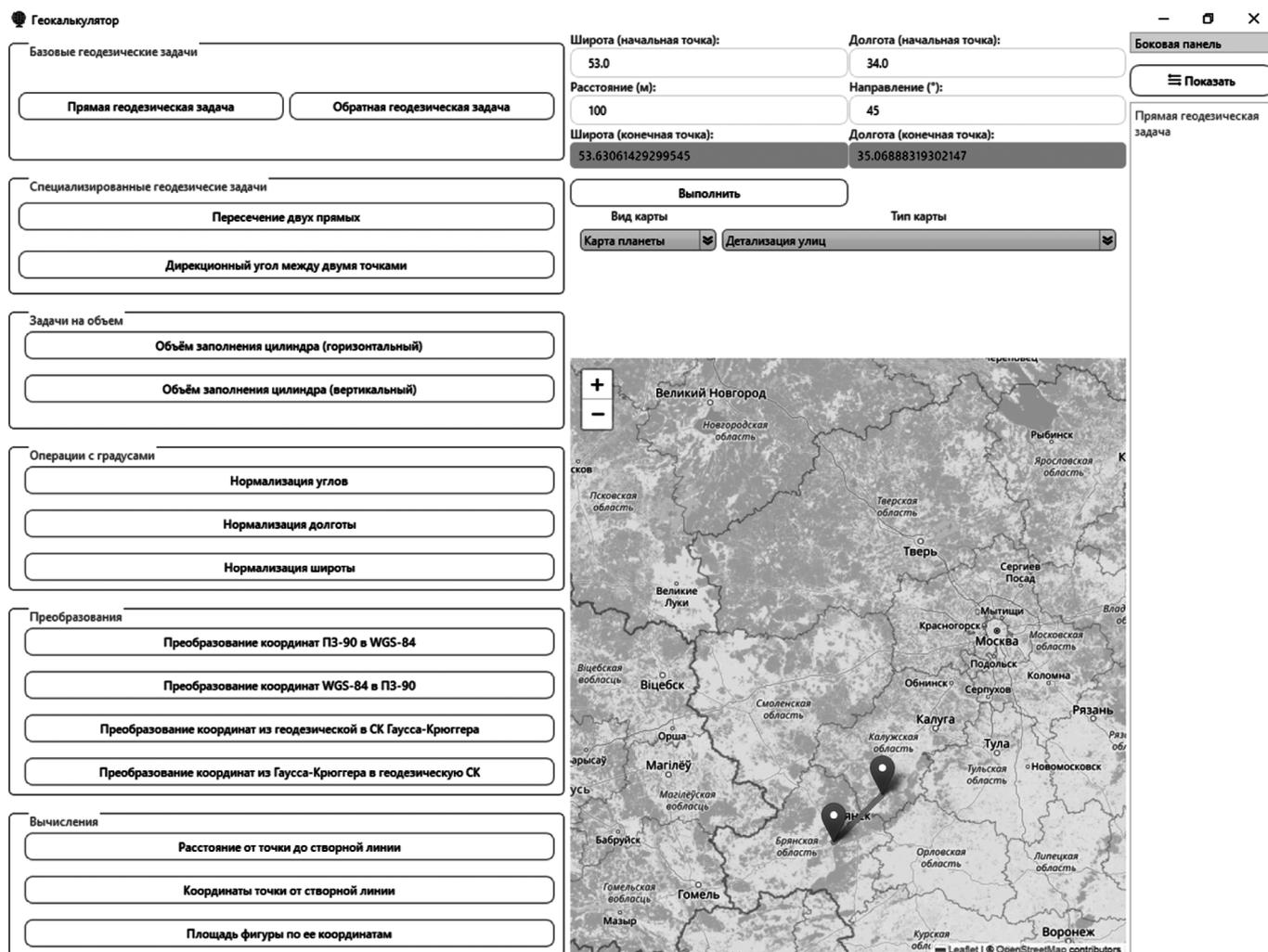


Рис. 7. Финальный вид работы программы

отображение результатов расчетов на интерактивной карте. Это способствует более глубокому погружению в процесс обучения самими учащимися, ведь так студент

будет видеть результат своей работы, а не абстрактные координаты на бумаге.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Геодезия: Учебно-методическое пособие к выполнению расчетно-графических и лабораторных работ студентами очной формы обучения по направлению 08.03.01 Строительство. Составитель: Г.Н. Соболева. — Брянск: БГИТУ, 2023. — 87 с.
2. Прусс Б.Н., Романов В.А., Голубов Е.В., Закутяев М.В. Автоматизация решения обратной геодезической задачи с использованием MS Excel // Высокие технологии, наука и образование: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2020. — С. 37–39.
3. Прусс Б.Н., Романов В.А., Гурикова А.С., Ткачева Ю.В. Автоматизация решения прямой геодезической задачи с использованием MS Excel // Результаты современных научных исследований и разработок. Сборник статей VI Всероссийской научно-практической конференции: в 2 ч. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2019. — С. 69–71.
4. Соболева Г.Н. Совершенствование подготовки студентов по дисциплине «Геодезия» // Современные проблемы высшего профессионального образования. Материалы научно-методической конференции. -Брянск: БГИТА, 2015. — С. 185–190.
5. Прусс Б.Н., Романов В.А. Проектирование интерфейса АРМ коменданта общежития // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаём будущее. Сборник статей XII международной научно-практической конференции. — Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2017. — Ч.1. — С.36–38.
6. Федоров Д.Ю. Программирование на языке высокого уровня Python: учебное пособие для прикладного бакалавриата / Д.Ю. Федоров. — М.: Издательство Юрайт, 2019. — 161 с. — URL: <https://urait.ru/bcode/437489> (дата обращения: 04.04.2024).

© Плескачева Ольга Юрьевна (pleskacheva@inbox.ru); Прусс Борис Наумович (prussbor@gmail.com); Романов Виктор Александрович (vromanov62@mail.ru); Соболева Галина Николаевна (soboleva.g.n@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АПРИОРНОЙ И ИНВАРИАНТНОЙ ИНФОРМАЦИИ О ФОРМЕ ТЕЛА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ КОРРЕКЦИИ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ

## THE USE OF A PRIORI AND INVARIANT BODY SHAPE INFORMATION TO SOLVE THE PROBLEM OF CORRECTING NAVIGATION DATA

A. Polokhov

*Summary.* At the present stage of scientific and technical development, the requirements for technical indicators of measuring and control tools are constantly increasing. Improving the accuracy of determining coordinates is a very important task, allowing you to raise the level of automatic control of the vessel (air, sea and river). The proposed approach makes it possible to obtain a more accurate value of the coordinates of vehicles as a whole without imposing additional requirements on the supporting infrastructure of ground and space). At the same time, a 50–100 fold increase in the accuracy of determining the coordinates of the vessel is achieved. The proposed method makes it possible to determine with high accuracy in real time at the above accuracy, i.e. in motion.

*Keywords:* navigation, GPS, GLONASS receiver system, connection of body shape with the behavior of the receiver system, extreme accuracy of coordinate measurement, real-time system.

Полохов Андрей Николаевич

ведущий инженер, Институт проблем управления РАН  
им. В.А. Трапезникова, г. Москва  
nmvgan@yandex.ru

*Аннотация.* На современном этапе научно-технического развития постоянно возрастают требования к техническим показателям средств измерения и управления. Повышение точности определения координат является весьма важной задачей, позволяющие поднять уровень автоматического управления судна (воздушного, морского и речного). Предлагаемый подход позволяет получить более точное значение координат транспортных средств в целом без предъявления дополнительных требований к обеспечивающей инфраструктуре наземной и космической). При этом достигается 50–100 кратное увеличение точности определения координат судна. Предлагаемый метод позволяет определять с высокой точностью в реальном масштабе времени при указанной выше точности, т.е. в движении.

*Ключевые слова:* навигация, ГСН, система приёмников ГЛОНАСС, связь формы тела с поведением системы приёмников, предельная точность измерения координат, система реального времени.

### Введение

Точность измерения высокого уровня достижима в настоящее время только при стационарных измерениях, например геодезии, в строительстве и т.п. В этом случае точность достигается за счёт процесса сходимости координат к величине размеров самого приёмника ГСН (глобальная спутниковая навигационная система). В настоящее время для повышения точности определения координат используется т.н. **дифференциальный метод**, требующий дополнительной наземной инфраструктуры и имеющий большие ограничения.

Целью статьи является рассмотрение коллективного поведения системы приёмников ГСН, связанных в совместной работе общим алгоритмом. И использование полученных результатов с целью построения вычислительной процедуры для получения качественно более точных значений координат твёрдого тела в режиме реального времени (в качестве твёрдого тела использована геометрическая модель самолёта нормальной аэродинамической схемы, поскольку имеет важное прикладное значение, Рис. 1).

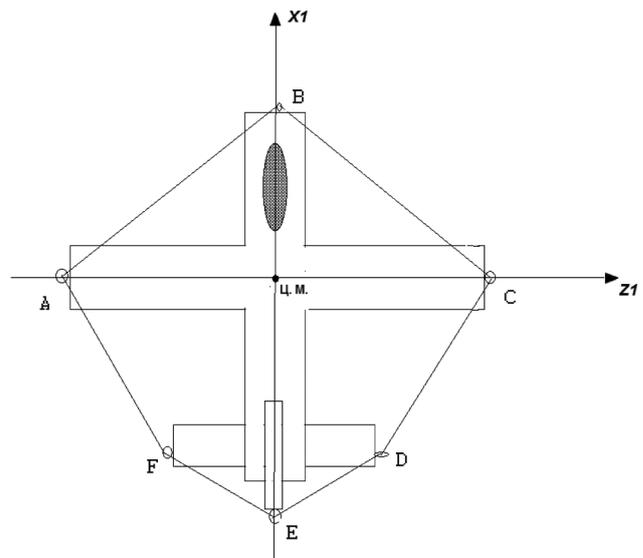


Рис. 1. Условное изображение ЛА

На Рис. 1 выделены маргинальные точки А...F, которые принадлежат телу и в тоже время определяют его габариты. Т.к. эти отрезки принадлежат данному твёрдо-

му телу, то они могут быть измерены до экспериментов (a priori) и при разных эволюциях остаются инвариантами. Т.е. форма твёрдого тела не меняется. На Рис. 2 изображён граф связности вершин A...F — условно в правильной форме. Назовём его графом G<sup>-</sup>. Граф G<sup>-</sup> связан с телом.

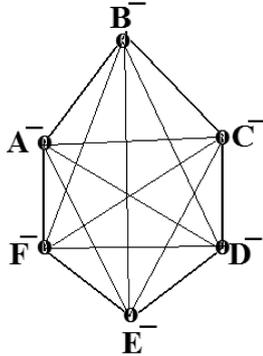


Рис. 2. Граф связей

Где расстояния между вершинами графа означают длину между соответствующими маргинальными точками Рис.1. Множество треугольников, образованных вершинами графа на Рис.2 затруднительно для визуального подсчёта. Для этой цели воспользуемся правилами комбинаторики.

По известной формуле комбинаторики, число таких треугольников получится равным:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3(6-3)!} = \frac{720}{6 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3} = \frac{720}{36} = 20;$$

где m — набор из трёх любых вершин, образующих треугольную грань, а n — общее число вершин ABCDEF. Каждый треугольник может рассматриваться как соответствующая треугольная грань, из которых складывается призма, внутри которой оказывается вписанным модель самолёта, изображённая на Рис. 1. Часть треугольных плоскостей образуют внешнюю поверхность, а остальные находятся внутри и не видны на Рис. 3

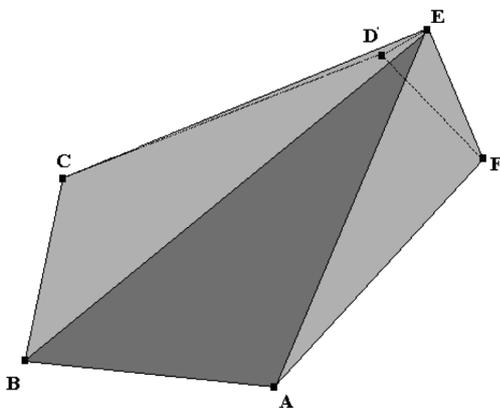


Рис. 3. Призма габаритов ЛА

Поскольку можно путём непосредственного измерения узнать длины рёбер графа на Рис. 2, то с помощью формулы Герона, которая выглядит,

$$S = \sqrt{p(p-a) \cdot (p-b) \cdot (p-c)}, \quad (1)$$

где  $p = \frac{a+b+c}{2}$ , a, p — полупериметр треугольника, а S — площадь треугольника.

Кроме 20 треугольников графа на Рис. 2 образована система рёбер, соединяющая пары вершин графа. Аналогично (1) по формуле комбинаторики

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} = \frac{1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 6}{1 \cdot 2 \cdot 3(6-2)!} = \frac{720}{48} = 15. \quad (2)$$

Площадь каждого из 20 треугольников производится по формуле Герона, путем непосредственного измерения соответствующих рёбер графа на Рис. 2 — геометрическое свойство твёрдого тела. Аналогично измеряются длины между парами вершин. Существует известная и компактная формула, которая определяет площадь треугольника в трёхмерном пространстве по координатам трёх вершин:

$$S_{ABC} = \frac{1}{2} \sqrt{\begin{vmatrix} 1 & A_x & B_y \\ 1 & B_x & B_y \\ 1 & C_x & C_y \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} 1 & A_x & A_z \\ 1 & B_x & B_z \\ 1 & C_x & C_z \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} 1 & A_y & A_z \\ 1 & B_y & B_z \\ 1 & C_y & C_z \end{vmatrix}^2} \quad (3)$$

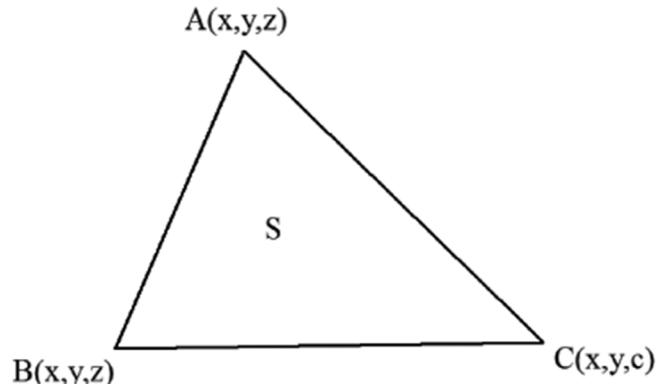


Рис. 4. Треугольник площади S в трёхмерном пространстве

Таким образом осуществляется связь площади треугольника в координатном представлении вершин и длинами его сторон.

Рассмотрим в общих чертах приёмник ГНС. В мире выпускается огромное разнообразие такого рода приборов, которое содержит обязательное подмножество общих функций и множество отличий. В контексте данного материала нас будет интересовать общая возможность таких устройств выдавать с необходимой частотой местоположение данного прибора в двух представлении-

ях: геоцентрической и геодезической, а также точность определения местонахождения. В геоцентрической системе используется декартова система координат с началом координат в центре Земли по ПЗ-90.

Следующей важной величиной является точность местоопределения. В качестве модели точности использована формула среднеквадратичного отклонения. Это связано с тем, что весьма затруднительно учесть все виды помех и данная модель является компромиссной. При этом неявно предполагается, что источником ошибок является исключительно приёмник ГНС, а остальная часть инфраструктуры работает с высокой точностью.

Приёмник ГНС обладает всеми свойствами измерительных приборов. Будучи установленными в вершинах графа на Рис. 2 (аналогично, установленными в маргинальных местах на Рис. 1) указывает не точку установки, а несколько иную, в соответствии с величиной  $\delta$ . На Рис. 6 это будут одноименные фрагменты графа  $G$  и  $G^*$  в виде двух треугольников, лежащих в разных плоскостях.

На Рис. 5 показана импульсная помеха по каналу высоты для одного и того же места в режиме — широта, долгота, высота.

На Рис. 6 показаны один виртуальный треугольник как часть графа  $G$ , построенного на показаниях шести приёмников ГНС и другой (виртуальный) треугольник, как часть графа  $G^*$ , расположенные в разных плоскостях.

Шесть приёмников ГНС, закреплённых в маргинальных точках летательного аппарата, передают измеренные значения с погрешностью  $\delta$ . Это ведёт к виртуальному искажению формы тела. А именно, призмы на Рис. 3.

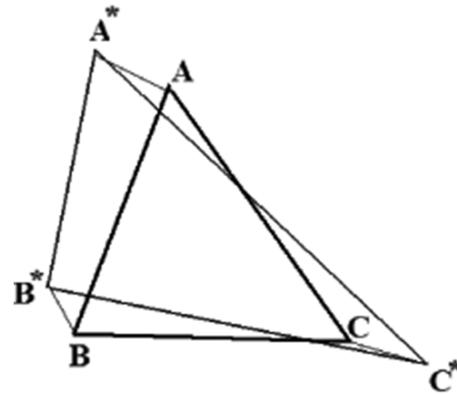


Рис. 6. Реальный и виртуальный треугольники

Напомним, что призма получена заранее, путём измерений обычным измерительным инструментом. Как это было описано выше. Искажения площади каждого из треугольников можно получить путём использования формулы 3, которая определяет площадь треугольника по значению координат вершин того или иного треугольника или их совокупности. Можно потребовать, чтобы погрешность  $\delta$ , сгенерированной ГНС, заменить неким приближением, которое назовём «скорректированным значением ошибки измерения координаты», путём сравнения соответствующих площадей треугольников.

Если обратиться к Рис. 1, то можно отметить, что вершины A,B,C,D,E,F соединяются несколько необычным способом. Получить их численные значения из Рис. 1 невозможно, а отсюда невозможность подсчёта площадей треугольников по Рис. 2. Для решения этой был выбрано следующее решение: была собрана геометрическая модель летательного аппарата ТУ-160, выполненная в масштабе 1:144, на которой были проведены необходимые физические измерения с учётом масштаба. На Рис. 7 показана эта модель.

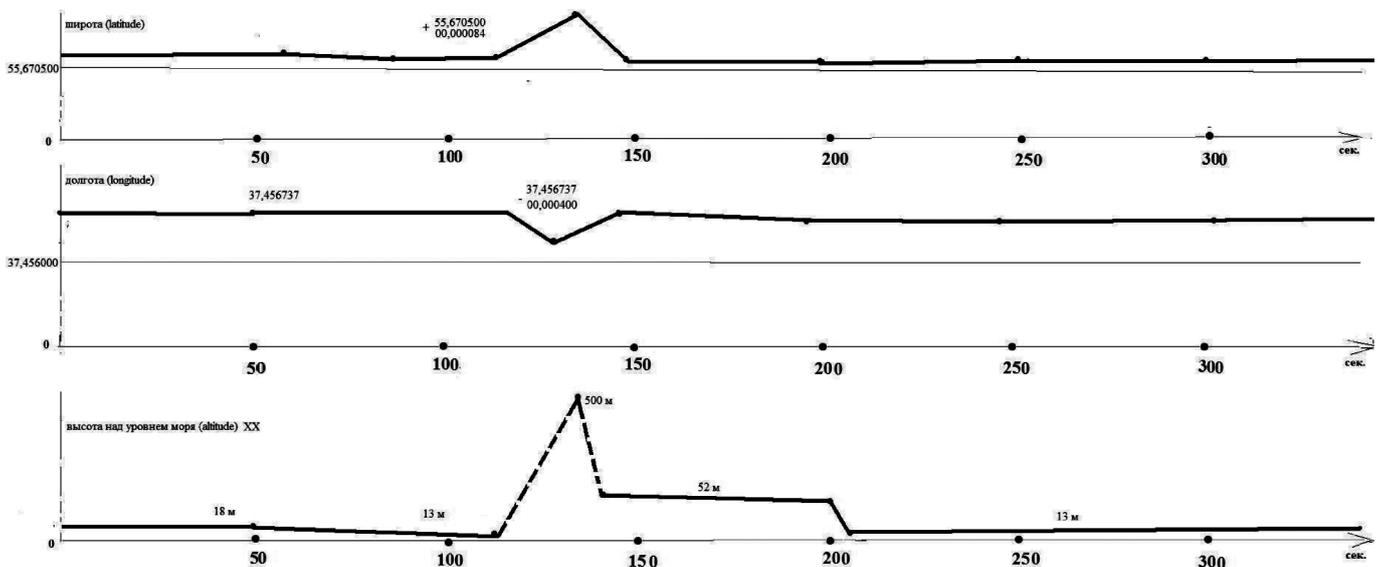


Рис. 5. Временная диаграмма помехи сигнала



Рис. 7. Геометрическая копия в масштабе реального ЛА

Ниже приведены полученные описанным способом реальные длины рёбер на Рис. 1 и Рис. 2.

$$\begin{aligned}
 AB &= 310 \cdot \frac{144}{1000}; BC = 310 \cdot \frac{144}{1000}; BE = 354 \cdot \frac{144}{1000}; \\
 AE &= 227 \cdot \frac{144}{1000}; CE = 225 \cdot \frac{144}{1000}; \\
 BF &= 367 \cdot \frac{144}{1000}; BD = 367 \cdot \frac{144}{1000}; AC = 382 \cdot \frac{144}{1000}; \\
 AD &= 267 \cdot \frac{144}{1000}; CF = 265 \cdot \frac{144}{1000}; \\
 FD &= 93 \cdot \frac{144}{1000}; AF = 187 \cdot \frac{144}{1000}; CD = 187 \cdot \frac{144}{1000}; \\
 FE &= 59 \cdot \frac{144}{1000}; ED = 59 \cdot \frac{144}{1000}.
 \end{aligned}$$

Первый множитель получен путём измерения на физической модели по Рис. 7. Размер задан в миллиметрах. В числителе задан масштаб модели и реального аппарата. В знаменателе указано число миллиметров в одном метре.

Имея реалистические значения длин рёбер графа и используя формулу Герона (1) можно получить значения площадей треугольников призмы на Рис. 3. Ниже перечислены эти значения.

$$\begin{aligned}
 S_{ABC} &= 967,05; S_{FED} = 35,02; S_{AFE} = 92,13; \\
 S_{CED} &= 95,40; S_{ACE} = 478,47; \\
 S_{FBD} &= 149,97; S_{FBC} = 835,70; S_{AED} = 110,27; \\
 S_{FBE} &= 214,38; S_{AFC} = 468,40; \\
 S_{ABD} &= 839,68; S_{BED} = 215,33; S_{ABE} = 720,37; \\
 S_{FCD} &= 116,13; S_{ACD} = 475,07; \\
 S_{FCE} &= 109,37; S_{AFD} = 109,25; S_{BCD} = 600,93; \\
 S_{ABF} &= 600,74; S_{BCE} = 714,60.
 \end{aligned}$$

Площадь треугольников задана в метрах квадратных. Совокупность представленных выше данных описывает с достаточной для обозначенных целей твёрдое тело, в конкретном случае летательный аппарат.

Далее описаны уравнения и неравенства зависимостей, рассмотренных в первой главе.

$L_{**}$  — расстояние между соответствующими вершинами графа  $G^-$ . Смысл представленных ниже уравнений следующий: потребуем, чтобы расстояние между вершинами отыскиваемых приближений должны быть равными соответствующим значениям, полученным путём измерения на модели.

$$\begin{aligned}
 (1) & (A_x^* - B_x^*)^2 + (A_y^* - B_y^*)^2 + (A_z^* - B_z^*)^2 = L_{A^-B^-}^2; \\
 (2) & (A_x^* - D_x^*)^2 + (A_y^* - D_y^*)^2 + (A_z^* - D_z^*)^2 = L_{A^-D^-}^2; \\
 (3) & (A_x^* - F_x^*)^2 + (A_y^* - F_y^*)^2 + (A_z^* - F_z^*)^2 = L_{A^-F^-}^2; \\
 (4) & (A_x^* - E_x^*)^2 + (A_y^* - E_y^*)^2 + (A_z^* - E_z^*)^2 = L_{A^-E^-}^2; \\
 (5) & (A_x^* - C_x^*)^2 + (A_y^* - C_y^*)^2 + (A_z^* - C_z^*)^2 = L_{A^-C^-}^2; \\
 (6) & (B_x^* - F_x^*)^2 - (B_y^* - F_y^*)^2 - (B_z^* - F_z^*)^2 = L_{B^-F^-}^2; \\
 (7) & (B_x^* - E_x^*)^2 + (B_y^* - E_y^*)^2 + (B_z^* - E_z^*)^2 = L_{B^-E^-}^2; \\
 (8) & (B_x^* - D_x^*)^2 + (B_y^* - D_y^*)^2 + (B_z^* - D_z^*)^2 = L_{B^-D^-}^2; \\
 (9) & (B_x^* - C_x^*)^2 + (B_y^* - C_y^*)^2 + (B_z^* - C_z^*)^2 = L_{B^-C^-}^2; \\
 (10) & (C_x^* - D_x^*)^2 + (C_y^* - D_y^*)^2 + (C_z^* - D_z^*)^2 = L_{C^-D^-}^2; \\
 (11) & (C_x^* - E_x^*)^2 + (C_y^* - E_y^*)^2 + (C_z^* - E_z^*)^2 = L_{C^-E^-}^2; \\
 (12) & (C_x^* - F_x^*)^2 + (C_y^* - F_y^*)^2 + (C_z^* - F_z^*)^2 = L_{C^-F^-}^2; \\
 (13) & (D_x^* - F_x^*)^2 + (D_y^* - F_y^*)^2 + (D_z^* - F_z^*)^2 = L_{D^-F^-}^2; \\
 (14) & (D_x^* - E_x^*)^2 + (D_y^* - E_y^*)^2 + (D_z^* - E_z^*)^2 = L_{D^-E^-}^2; \\
 (15) & (E_x^* - F_x^*)^2 + (E_y^* - F_y^*)^2 + (E_z^* - F_z^*)^2 = L_{E^-F^-}^2.
 \end{aligned}$$

Ниже приведены неравенства, отсылающие к Рис. 6, на котором ради упрощения рисунка показаны два треугольника, относящиеся к графам  $G$  и  $G^*$ . Граф  $G$  формируется по показаниям физических приёмников ГСНС. Граф  $G^-$  — это совокупность вершин и рёбер, проходящих через маргинальные точки твёрдого тела, в конкретном случае летательного аппарата. Граф  $G^*$  с соответствующими вершинами является целью поиска искомого приближения. Исходя из целей задачи, потребуем, чтобы соответствующие разницы между значениями, вершины графа  $G$  и  $G^*$  были меньше или равно величине  $\delta$ . Ниже приведены эти шесть неравенств.

$$(16) (A_x^* - A_x^*)^2 + (A_y^* - A_y^*)^2 + (A_z^* - A_z^*)^2 \leq \sigma^2;$$

$$(17) (B_x^* - B_x^*)^2 + (B_y^* - B_y^*)^2 + (B_z^* - B_z^*)^2 \leq \sigma^2;$$

$$(18) (C_x^* - C_x^*)^2 + (C_y^* - C_y^*)^2 + (C_z^* - C_z^*)^2 \leq \sigma^2;$$

$$(19) (D_x^* - D_x^*)^2 + (D_y^* - D_y^*)^2 + (D_z^* - D_z^*)^2 \leq \sigma^2;$$

$$(20) (E_x^* - E_x^*)^2 + (E_y^* - E_y^*)^2 + (E_z^* - E_z^*)^2 \leq \sigma^2;$$

$$(21) (F_x^* - F_x^*)^2 + (F_y^* - F_y^*)^2 + (F_z^* - F_z^*)^2 \leq \sigma^2.$$

Далее приведена система ещё из 20 уравнений. Левые части уравнений содержат координаты разыскиваемых вершин и равны квадратам площади соответствующего треугольника графа  $G^*$ . В правых частях находятся числовые значения квадратов площади соответствующего треугольника, полученных непосредственным измерением и с помощью формулы Герона на модели.

$$(22) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ B_y^* & B_z^* & 1 \\ C_y^* & C_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ B_z^* & B_x^* & 1 \\ C_z^* & C_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ B_x^* & B_y^* & 1 \\ C_x^* & C_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*B^*C^*}^2$$

$$(23) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} D_y^* & D_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} D_z^* & D_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} D_x^* & D_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{F^*E^*D^*}^2$$

$$(24) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*F^*E^*}^2$$

$$(25) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} C_y^* & C_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} C_z^* & C_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} C_x^* & C_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{C^*E^*D^*}^2$$

$$(26) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ C_y^* & C_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ C_z^* & C_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ C_x^* & C_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*C^*E^*}^2$$

$$(27) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} B_y^* & B_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_z^* & B_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_x^* & B_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{B^*D^*F^*}^2$$

$$(28) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} B_y^* & B_z^* & 1 \\ C_y^* & C_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_z^* & B_x^* & 1 \\ C_z^* & C_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_x^* & B_y^* & 1 \\ C_x^* & C_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{B^*C^*F^*}^2$$

$$(29) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*D^*E^*}^2$$

$$(30) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} B_y^* & B_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_z^* & B_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_x^* & B_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{B^*E^*F^*}^2$$

$$(31) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ C_y^* & C_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ C_z^* & C_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ C_x^* & C_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*C^*F^*}^2$$

$$(32) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ B_y^* & B_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ B_z^* & B_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ B_x^* & B_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*B^*D^*}^2$$

$$(33) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} B_y^* & B_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_z^* & B_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_x^* & B_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{B^*D^*E^*}^2$$

$$(34) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ B_y^* & B_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ B_z^* & B_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ B_x^* & B_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*B^*E^*}^2$$

$$(35) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} C_y^* & C_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} C_z^* & C_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} C_x^* & C_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{C^*D^*F^*}^2$$

$$(36) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ C_y^* & C_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ C_z^* & C_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ C_x^* & C_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*C^*D^*}^2$$

$$(37) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} C_y^* & C_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} C_z^* & C_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} C_x^* & C_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{C^*E^*F^*}^2$$

$$(38) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*D^*F^*}^2$$

$$(39) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} B_y^* & B_z^* & 1 \\ C_y^* & C_z^* & 1 \\ D_y^* & D_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_z^* & B_x^* & 1 \\ C_z^* & C_x^* & 1 \\ D_z^* & D_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_x^* & B_y^* & 1 \\ C_x^* & C_y^* & 1 \\ D_x^* & D_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{B^*C^*D^*}^2$$

Избыточные уравнения

$$(40) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} A_y^* & A_z^* & 1 \\ B_y^* & B_z^* & 1 \\ F_y^* & F_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_z^* & A_x^* & 1 \\ B_z^* & B_x^* & 1 \\ F_z^* & F_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} A_x^* & A_y^* & 1 \\ B_x^* & B_y^* & 1 \\ F_x^* & F_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{A^*B^*F^*}^2$$

$$(41) \frac{1}{4} \left\{ \begin{vmatrix} B_y^* & B_z^* & 1 \\ C_y^* & C_z^* & 1 \\ E_y^* & E_z^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_z^* & B_x^* & 1 \\ C_z^* & C_x^* & 1 \\ E_z^* & E_x^* & 1 \end{vmatrix}^2 + \begin{vmatrix} B_x^* & B_y^* & 1 \\ C_x^* & C_y^* & 1 \\ E_x^* & E_y^* & 1 \end{vmatrix}^2 \right\} = S_{B^*C^*E^*}^2$$

Система содержит 18 переменных, а число уравнений — 20. Данная избыточность объясняется тем, что часть треугольников содержит смежные стороны. Из уравнений (1)–(36) можно составить много систем уравнений и неравенствами, содержащих 18 искомым приближений с 18 уравнениями или/и неравенствами. Сделаем выбор системы из уравнений (22) по (39) для решения задачи, исходя при этом из соображений однородности.

В настоящее время считается обоснованным использование для прикладных вычислений использование специализированных математических программных пакетов, таких как MathCad и подобных других. Для численного решения системы уравнений (22)–(39) был использован вариант MathCad версии 15. В процессе решения программа анализирует предложенную для решения систему уравнений и подбирает эффективный метод решения. В качестве начального приближения берутся данные с приёмников ГСНС, устанавливается точность приближенного решения 0,1 метра. Показания приёмников ГСНС получены имитационным способом в программе. Считается, что предлагаемый метод относится к системам реального времени. Предполагается, что компьютерная система обладает достаточной производительностью, чтобы успевать произвести получение результата до поступления очередного кадра сообщений.

Далее рассматриваются некоторые аспекты влияния рассматриваемого метода коррекции показаний приёмников ГСНС на задачи управления подвижным объектом. Среди таких задач есть задача определения пространственной ориентации летательного аппарата относительно земной вертикали как одной из осей и остальных двух координат (север — юг, запад — восток), путём пересчёта скорректированных координат в координату плоскости летательного аппарата (или иного судна), проходящего через центр масс (для случая ЛА).

### Материалы и методы

Для получения результатов работы использовалось компьютерное моделирование и решение систем урав-

нений численным методом средствами MathCad 15. Методы комбинаторики. Теории вероятности.

### Литературный обзор

Предлагаемая технология относится к инновациям. На данный момент отсутствуют материалы, развивающие данный метод.

### Результаты

В качестве оценки точности приёмника ГСНС используется модель средне-квадратичного отклонения  $\sigma$ . По этой причине ошибки могут быть весьма велики. Предлагаемая технология позволяет предельно снизить ошибку до 0,1 метра.

### Заключение

Одним из самых сложных этапов полёта ЛА является взлёт и особенно посадка, которые с трудом удаётся решить, применяя разнообразные радиотехнические и лазерные средства при отсутствии стандартизации в мировом масштабе. С помощью современных технических средств можно заранее спроектировать трассу движения судна и с высокой точностью ей следовать, используя предлагаемый метод коррекции. Благодаря высокой точности определения координат местоположения, можно повысить уровень автоматизации судовождения. Связь с бортовой системой судна обеспечивает управление вождением с учётом полученных значений коррекции для обеспечения точного следования заранее спроектированной траектории. При этом могут возникать задачи, обычные для систем регулирования: точности, стабилизации и т.п. К описанному материалу можно обоснованно применить термин «цифровизация», что соответствует мировой тенденции. Спроектированная трасса представляет собой массив координат, который заносится в память соответствующей системы управления судном до начала движения. Массив из координат образует трассу, по которой происходит движение судна.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Полохов А.Н. Алгоритмический метод коррекции показаний системы датчиков ГЛОНАСС/NAVSTAR, расположенных особым образом на поверхности летательного аппарата // Датчики и системы. 2015. № 9–10. С. 24–30.
2. Полохов А.Н. Метод повышения точности определения координат беспилотного летательного аппарата на основе геометрической модели для датчиков ГЛОНАСС/NAVSTAR // Биржа интеллектуальной собственности. 2015. том XIV №6 . С. 53–58.
3. Полохов А.Н. Датчик для измерения вектора напряженности электростатического поля // Датчики и системы. 2011. № 3. С. 27–29.
4. Полтавский А.В., Маклаков В.В., Бородуля В.М., Полохов А.Н., Мошников А.С. Контроль координат модулей нежесткой фазированной решётки // Датчики и системы. 2011. № 11. С. 52–54
5. Полтавский А.В., Семёнов С.С., Бурба А.А. Аверкин А.Е., Полохов А.Н. Роль разведывательно-ударных и ударных комплексов беспилотных летательных аппаратов в системе вооружения ВВС и ВМС ведущих стран мира. Боеприпасы. 2013. №1. С.54–63

6. Семёнов С.С., Полтавский А.В., Бурба А.А., Аверкин А.Е., Полохов А.Н. Роль Разведывательно-ударных и ударных комплексов беспилотных летательных аппаратов в системе вооружения ВВС и ВМС ведущих стран мира// Боеприпасы. 2013. № 3. С.26–44.
7. Семёнов С.С., Полтавский А.В., Бурба А.А., Аверкин А.Е., Полохов А.Н. Концептуальные вопросы развития ударных комплексов беспилотных летательных аппаратов. Боеприпасы 2013. №4. С. 20–28.
8. Полтавский А.В., Бурба А.А., Аверки А.Е., Семёнов С.С., Полохов А.Н., Седых Ю.Н. Системные принципы создания и применения многоцелевых комплексов беспилотных летательных аппаратов. М.: ИПУ РАН, 2010. — 102 с.
9. Полтавский А.В., Бурба А.А., Семёнов С.С., Маклаков В.В., Полохов А.Н., Аверкин А.Е., Бородуля В.М. Оценка эффективности управления комплексами беспилотных летательных аппаратов ударного назначения. М.: ИПУ РАН, 2009. — 48 с.
10. Semionov S.S., Poltavskiy A.V., Burba A.A., Polokhov A.N., Evaluating technical level of complex technical systems//journal of mechanics of continual and mathematical sciences. 2020. № 10, pp. 212–230.
11. Черкасова А.А., Салахов Р.Ф., Астахов Д.А. Создание аппаратно-программного динамического имитатора сигналов модернизированной межспутниковой радиолинии системы ГЛОНАСС. Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. Том 8. Выпуск 3. 2021 стр. 63–71

---

© Полохов Андрей Николаевич (nmvgan@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРОГРАММНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ С НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩИМИ ГИПЕРПАРАМЕТРАМИ

## MODEL OF A SOFTWARE ENVIRONMENT DEFECT DETECTION SYSTEM BASED ON DEEP LEARNING WITH THE MOST SUITABLE HYPERPARAMETERS

**D. Potapov  
S. Kornienko**

*Summary.* This article discusses methods for detecting errors in software code, lists existing tools for searching for defects in the software environment, focuses on a way to find and predict the appearance of software code defects using machine learning, lists well-known scientific works on finding errors and anomalies in the software environment, considers a typical scheme of artificial neural network operation in training. A hybrid model of a software environment defect detection system based on deep learning with the most appropriate hyperparameters is proposed, which is based on machine learning technology with hyperparameters calculated using the hierarchy analysis method.

*Keywords:* machine learning, software environment defects, hyperparameters, hybrid model, hierarchy analysis method.

**Потапов Дмитрий Артёмович**

Аспирант, Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I;

главный специалист. Дирекция информационной безопасности ПАО Банк «Санкт-Петербург»

**Корниенко Светлана Владимировна**

кандидат технических наук, доцент, Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I

89025610510@mail.ru

*Аннотация.* В данной статье рассмотрены методы обнаружения ошибок в программном коде, перечислены существующие инструменты для поиска дефектов в программной среде, акцент сделан на способ нахождения и прогнозирования появления дефектов программного кода с использованием машинного обучения, перечислены известные научные работы по поиску ошибок и аномалий в программной среде, рассмотрена типовая схема работы искусственной нейронной сети при обучении, предложена гибридная модель системы обнаружения дефектов программной среды на основе глубокого обучения с наиболее подходящими гиперпараметрами, которая основана на технологии машинного обучения с гиперпараметрами, вычисленными по методу анализа иерархий.

*Ключевые слова:* машинное обучение, дефекты программной среды, гиперпараметры, гибридная модель, метод анализа иерархий.

Развитие в информационной сфере повлекло за собой появление современных технических устройств, облегчающих жизнь человечеству. Современные смарт технологии, имплантируемые медицинские устройства, автомобили с автопилотом и множество других изобретений ежедневно используют программную среду, которая требует наличие и совершенствование программного обеспечения. Существует множество языков программирования и средств для помощи в написании программного кода, а также его корректировки в целях адекватного использования. Несмотря на существующее многообразие методов и способов прогнозирования появления и выявления существующих ошибок в программном коде, исключить полностью вероятность появления дефекта в программной среде нет. Автоматизация процесса поиска ошибок программного кода экономит время на написание программы и повышает ее качество.

Ошибки (баги) могут возникать из-за различных причин, таких как ошибки в коде программы, некорректное взаимодействие компонентов, проблемы с аппаратным

оборудованием или чрезвычайные происшествия. Преодолеть эти проблемы, можно за счет методов, используемых в сфере искусственного интеллекта.

Наиболее важное место в борьбе с появлением ошибок в программном коде занимает использование машинного обучения, которое может быть использовано для автоматического анализа и обнаружения ошибок и аномалий, что в свою очередь улучшает качество продукта и ускоряет процесс разработки с возможностью ранней локализации проблем на ранних стадиях разработки [8, 9]. Исходными данными для работы искусственной нейронной сети являются исходный код программы, логи событий, стеки вызовов и другие метрики.

Тема поиска ошибок в программной среде на основе машинного обучения в очень популярна, многие ученые трудились над развитием методов прогнозирования дефектов в программном обеспечении, использующие свои уникальные алгоритмы.

Существует несколько вариантов направлений машинного обучения, которые могут быть использованы

для обнаружения дефектов в программном обеспечении: классификация, кластеризация, извлечение признаков, обучение с учителем и без учителя, анализ временных рядов. Основными способами обнаружения дефектов программного обеспечения являются: тестирование программного обеспечения, использование инструментов для статического и динамического анализа кода, Peer code review, использование методов формальной верификации, мониторинг и отладка программы на этапе ее работы и сбор обратной связи от пользователей. В настоящее время существует ряд специальных инструментов, которые позволяют автоматизировать процесс тестирования и выявления дефектов, например: Pylint, SonarQube, ESLint, Checkstyle, Coverity.

Среди научных работ по применению машинного обучения для выявления ошибок в программном коде следует отметить зарубежные работы некоторых авторов в которых рассмотрены:

- работа алгоритмов классификации для поиска ошибок кода, таких как нейронные сети, наивный Байес, опорные вектора (SVM), линейная регрессия и K-ближайший сосед подробно описаны в [5];
- процесс используемый в SVM для классификации дефектов, в котором особое внимание уделяется предварительной обработке входных данных, с учетом применения байесовской классификации в сочетании с особенностью выбора признаков для эффективного прогнозирования описан в научном труде [4].

Также ранее были описаны гибридные подходы для оптимального исследования и кластеризации реальных наборов данных, так в [7] разработана модель, использующая метод оптимизации муравьиной колонии для прогнозирования появления ошибок программного обеспечения. В другом исследовании [6] была предложена гибридная модель машины опорных векторов в сочетании с алгоритмом поиска летучих мышей. В [10] представлена гибридная модель с использованием нейронной сети на основе метода пакетирования и генетического алгоритма для прогнозирования ошибки программного обеспечения для повышения производительности.

В данной работе используется термин «гиперпараметры» в нейронных сетях, под которыми понимаются параметры, которые не обучаются моделью, а задаются заранее и влияют на процесс обучения и структуру нейронной сети.

Предлагаемая гибридная модель представляет собой совокупность алгоритма определения наиболее лучших гиперпараметров на основе метода анализа иерархий и машинного обучения.

Для определения гиперпараметров нейронной сети подходят различные методы экспертных оценок: инициализация весов, ручная настройка, оптимизация параметров, адаптивные методы обучения такие как методы обратного распространения ошибки или методы оптимизации градиентного спуска.

Экспертные методы могут быть очень полезны при обучении нейронных сетей, особенно если у нас есть ограниченное количество данных или требуется решить сложную задачу, требующую дополнительные знания и опыт.

Существуют многокритериальные методы принятия управленческих решений такие как: метод простого аддитивного взвешивания, метод идеальной точки, методы исключения и выбора, отражающего реальность, метод анализа иерархий, предложенный Т. Саати [3]. Данный метод универсальный и может применяться для решения различных задач, учитывая многие критерии. Появление ошибок у данного метода минимальна за счет применения индекса согласованности между мнениями экспертов и весовыми коэффициентами каждого эксперта. Поэтому для выбора наиболее подходящих гиперпараметров нейронной сети предлагается применить метод анализа иерархий.

В результате проведенного анализа источников по функционированию искусственных нейронных сетей [1] в качестве критериев, по которым необходимо выбрать наиболее приоритетные гиперпараметры, рекомендуется использовать следующие:

1. Архитектура нейронной сети: выбор количества слоев, нейронов и их типов (например, плотные слои, сверточные слои, рекуррентные слои) влияет на способность сети к обучению и предсказанию.
2. Функции активации: выбор подходящей функции активации для каждого слоя в сети может улучшить ее способность к обучению и предсказанию.
3. Параметры обучения: скорость обучения, количество эпох, размер мини-батча и другие параметры обучения могут влиять на скорость сходимости и качество модели.
4. Регуляризация: использование методов регуляризации, таких как dropout, L1/L2 регуляризация, может помочь в предотвращении переобучения и улучшении обобщающей способности сети.
5. Выбор оптимизатора для обучения сети (например, Adam, SGD, RMSprop) также влияет на скорость сходимости и качество модели.

Для успешной реализации необходимо привлекать в качестве экспертов наиболее подготовленных специалистов, имеющих опыт в сфере проектирования и тестирования нейронных сетей, при наличии пяти выбранных основных критериев количество экспертов должно быть не менее 10 [2].

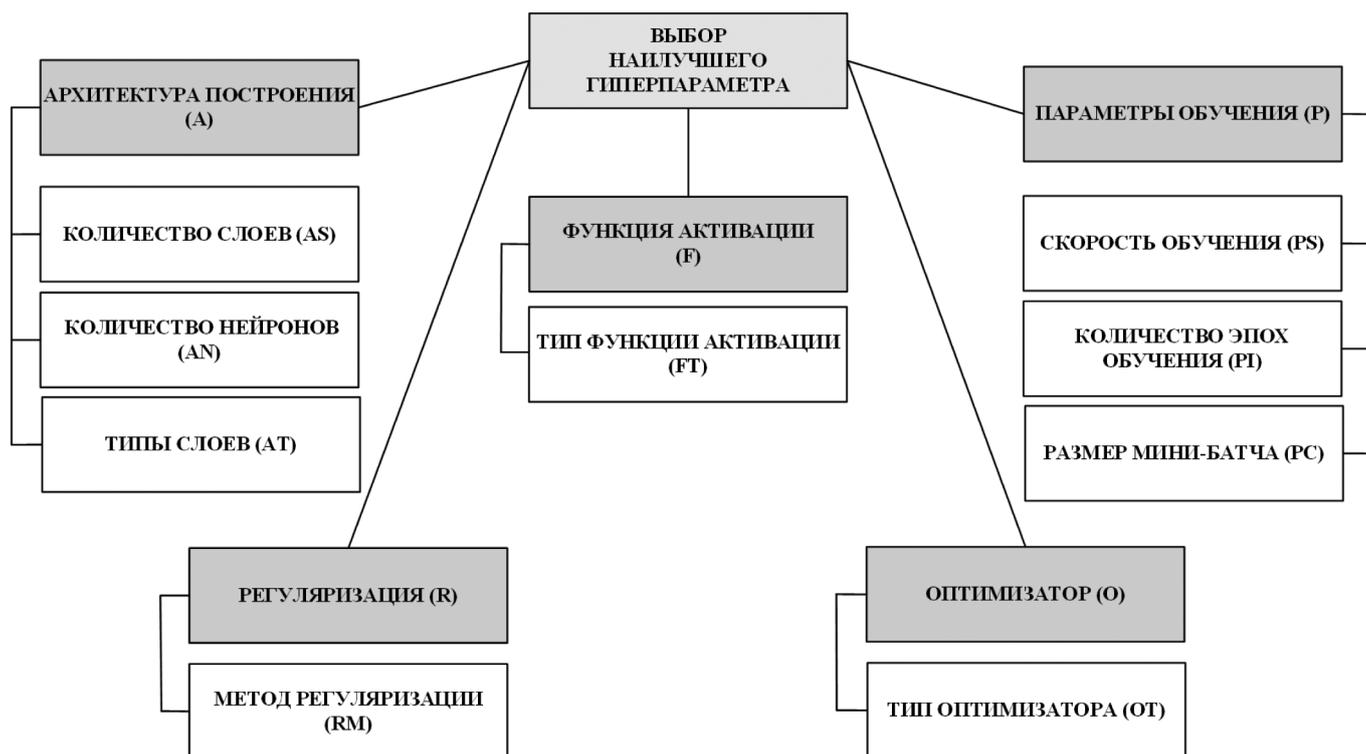


Рис. 1. Критерии для выбора наиболее лучшего гиперпараметра при работе нейронной сети

Основной задачей метода является нахождение собственного вектора с определением наибольшего значения. Определение вектора производят методом попарного сравнения критериев (рисунок 1).

Цель в данном случае — выбор наиболее подходящего гиперпараметра.

Критериями 1 уровня являются архитектура построения нейросети (A), функция активации (F), параметры обучения (P), регуляризация (R), оптимизатор (O). Критериями 2 уровня являются количество слоев (AS), количество нейронов (AN), типы слоев (AT), тип функции активации (FT), скорость обучения (PS), количество эпох обучения (PI), размер мини-батча (PC), метод регуляризации (RM), тип оптимизатора (OT).

На 1 этапе производится декомпозиция проблемы принятия решений с выделением главных целей, подцелей и различных целевых функций. На 2 этапе определяется значимость критериев первого уровня. Для этого составляем квадратную матрицу парных сравнений  $M$  размера  $k \times k$ , в нашем случае  $k = 5$  (критериев первого уровня 5) [2].

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} & m_{15} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & m_{24} & m_{25} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} & m_{34} & m_{35} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} & m_{45} \\ m_{51} & m_{52} & m_{53} & m_{54} & m_{55} \end{pmatrix}$$

Элементы матрицы  $m_{ij}$  являются соотношениями весов  $W_{ij}$  (значимость критерия от 0 до 9) к соответствующим элементам в матрице (от 1 до 5).

$$m_{ij} = \frac{W_i}{W_j}$$

Если веса заранее неизвестны, то попарные сравнения элементов производятся с использованием суждений, численно оцениваемых по фундаментальной шкале предпочтений. Далее вычисляем локальный вектор приоритетов, который будет определять приоритет того или иного критерия при выборе гиперпараметров. Далее для каждой строки матрицы определяем геометрическое среднее элементов.

$$g_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k m_{ij}}$$

где  $k$  — это количество рассматриваемых элементов.

Далее вычисляются компоненты нормализованного вектора приоритетов.

$$y_i^{\pi} = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^k g_i}$$

После этого определяется однородность суждений через индекс согласованности и сравнивается со значением случайной согласованности по фундаментальной шкале для заданного значения (значение не должно быть более 10 % иначе необходимо проводить заново присваивание весов критериям экспертами).

Глобальные приоритеты для каждой альтернативы  $a_i$  (элемент множества гиперпараметров) находятся по формуле, указанной ниже [2].

$$v(a_i) = \sum_{i=1}^n y_i^{H'} \times y_i^{H''}$$

где  $y_i^{H'}$  — это компоненты нормализованного вектора приоритетов первого уровня иерархии,

$y_i^{H''}$  — это компоненты нормализованного вектора приоритетов второго уровня иерархии.

Каждый раз после принятия решения о необходимости настройки гиперпараметров происходит оценивание по указанным критериям.

На 3 этапе переходим к оценке наилучшего гиперпараметра. Если значения критериев строго определены и составлен локальный вектор приоритетов, то матрица парных сравнений для этого гиперпараметра не составляется, а приоритетность определяется компонентами нормализованного вектора для каждого гиперпараметра.

Если по какому-либо критерию значения слабо формализуемые, то оценка по этому критерию осуществляется составлением матрицы парных сравнений с получением локального вектора приоритетов.

Глобальный вектор приоритетов позволяет выбрать наиболее предпочтительное решение по выбору значений гиперпараметров для эффективного функционирования нейронной сети.

Модель системы обнаружения дефектов программной среды на основе глубокого обучения с наиболее подходящими гиперпараметрами (Модель СОДПС) представлена на рисунке 2.

Данная модель состоит из модуля поиска дефектов, модуля обобщения результатов поиска, модуля сравнения, модуля определения наилучших гиперпараметров и модуля фиксации. Главными функциями данных модулей являются:

- модуль поиска дефектов осуществляет заданный режим работы за счет гиперпараметров и помечает подозрительные участки подаваемого на него объекта в виде программного кода;
- модуль обобщения результатов поиска подготавливает формализованный результат работы нейронной сети, подходящий для работы функции потерь;
- модуль сравнения осуществляет сравнения результата работы нейронной сети с правильным ответом и определяет корректность настройки гиперпараметров нейронной сети (если ответ близок с правильным ответом, то он передается в модуль фиксации, а при большом расхождении происходит регулировка гиперпараметров);
- модуль определения наилучших гиперпараметров предназначен для осуществления регулировки работы нейронной сети с целью повышения точности ее работы, регулировка осуществляется на основе произведенных вычислений по методу анализа иерархий;
- модуль фиксации осуществляет запись полученного результата работы нейронной сети, а также его разницу от правильного ответа и готовит данные по состоянию гиперпараметров нейронной сети для формализованной справки с рекомендациями к обработанному программному коду.

Следует подчеркнуть, что реализация вычислений в модуле определения наилучших гиперпараметров может осуществляться с помощью программы с заранее заданными экспертами конфигурациями.



Рис. 2. Модель СОДПС

Разработанная модель СОДПС является концептуальной и может дополняться необходимыми модулями и блоками. Одним из перспективных направлений по совершенствованию данной модели СОДПС является дополнение ее модулем по подготовке рекомендаций к обработанному программному коду, результатом работы которого будут являться возможные варианты исправления ошибок и варианты замены участков кода, определенными как аномальные.

За последние годы появилось много программных продуктов с возможностью раннего прогнозирования появления дефектов программного обеспечения и связанных с ними проблем, что говорит об актуальности исследования. В этой статье представлена гибридная модель по прогнозированию дефектов программного

обеспечения с использованием технологий, применяемых в глубоких нейронных сетях в сочетании с методом анализа иерархии для поиска наилучших гиперпараметров. Глубокое машинное обучение и метод анализа иерархий могут использоваться вместе для оптимизации архитектуры нейронных сетей, настройки гиперпараметров или обучения моделей. Таким образом, комбинированная связка глубокого машинного обучения с методом анализа иерархий может помочь улучшить качество и эффективность обучения моделей и соответственно более качественно находить, и прогнозировать появление дефектов в программной среде. Дальнейшим исследованием для разработанной модели будет проведение эксперимента с целью сравнения эффективности функционирования нейронной сети.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Галушкин, А.И. Нейронные сети: основы теории / А.И. Галушкин. М.: Горячая линия-Телеком, 2017. 496 с.
2. Павлов, И.П. Алгоритм ранжирования событий безопасности по приоритетности в автоматизированной системе в защищенном исполнении на основе метода анализа иерархий / И.П. Павлов // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2021. № 4. С. 67–78.
3. Саати Т. Принятие решений: метод анализа иерархий / Т. Саати; пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. М.: Радио и связь, 1993. 314 [1] с.
4. Gray, D., Bowes, D., Davey, N., Sun, Y., Christianson, B., Using the support vector machine as a classification method for software defect prediction with static code metrics. *Engineering Applications of Neural Networks*, pp. 223–234. Springer, Berlin, 2009.
5. Perreault, L., Berardinelli S., Izurieta C. and Sheppard J., Using Classifiers for Software Defect Detection. 26th International Conference on Software Engineering and Data Engineering (SEDE), 2017.
6. Rasneet K.C. and Iqbal S., Latest Research and Development on Software Testing Techniques and Tools, *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4(4), 2014.
7. Azar, D., Vybihal, J.: An ant colony optimization algorithm to improve software quality prediction models: case of class stability. *Inf. Softw. Technol.* 53(4), 388–393, 2011.
8. Puranika S., Deshpandea P., Chandrasekaran K., A Novel Machine Learning Approach for Bug Prediction, 6th International Conference on Advances In Computing & Communications, ICACC, 6–8 September 2016.
9. Menzies T., Turhan B., Bener A., Gay G., Cukic B., and Jiang Y., Implications of ceiling effects in defect predictors. In *Proceedings of the 4th international workshop on Predictor models in software engineering*, pp. 47–54. ACM, 2008.
10. Wahono, R.S., Herman, N.S., Ahmad, S.: Neural network parameter optimization based on genetic algorithm for software defect prediction. *Adv. Sci. Lett.* 20, 1951–1955 (2014).

# РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ИДЕНТИФИКАТОРА TOUCH MEMORY ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ВЕДОМОГО УСТРОЙСТВА ПРОТОКОЛА IBUTTON

DEVELOPMENT OF THE UNIVERSAL IDENTIFIER OF THE TOUCH MEMORY ELEMENT OF THE INFORMATION SECURITY SYSTEM USING THE LIBRARY OF THE SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE IBUTTON PROTOCOL SLAVE DEVICE

**M. Romanov**  
**E. Petrova**  
**V. Butov**  
**A. Apalkov**  
**S. Parshin**

*Summary.* The paper examines and analyzes contact identification systems based on the OneWire single-wire protocol (iButton) for possible vulnerabilities, the implementation of iButton key-identifier forgeries, as well as the prospects of using the OneWire interface in modern communication systems and information security systems. The developed experimental sample of the universal identifier device «Touch Memory», made on a programmable chip, makes it possible to fine-tune methods and algorithms for protection against unauthorized access by intruders. Despite all the advantages of systems built on iButton technology, they cannot provide absolute information protection. The proposed software implementation solutions developed in the course of this work can serve as material for improving the keys and algorithms of iButton devices. The solutions proposed in the work allow for two-stage identification with a given branching.

*Keywords:* information protection, access ID, data transfer.

**Романов Михаил Сергеевич**

кандидат технических наук, старший преподаватель,  
Воронежский институт МВД России  
m.romanov90@mail.ru

**Петрова Елена Владиленовна**

кандидат технических наук, старший преподаватель,  
Краснодарский университет МВД России  
petrovsemen1@mail.ru

**Бутов Владимир Викторович**

старший преподаватель, Ростовский юридический  
институт МВД России  
vladimir\_butov7@mail.ru

**Апальков Александр Владимирович**

старший преподаватель, Белгородский юридический  
институт МВД России имени И.Д. Путилина  
aleksandr.apalkov@yandex.ru

**Паршин Сергей Владимирович**

старший преподаватель,  
Сибирский юридический институт МВД России  
vechnosts@mail.ru

*Аннотация.* В работе рассматриваются и анализируются системы контактной идентификации, в основе которой лежит однопроводной протокол OneWire (iButton) на предмет возможных уязвимостей, реализации подделок iButton ключей-идентификаторов, а также перспективность использования интерфейса OneWire в современных системах связи и системах защиты информации. Разработанный экспериментальный образец устройства универсального идентификатора «Touch Memory», выполненный на программируемой микросхеме, дает возможность более тонкой настройки методов и алгоритмов защиты от несанкционированного доступа злоумышленников. Несмотря на все преимущества систем, построенных на технологии iButton, они не могут обеспечить абсолютную защиту информации. Предложенные решения программной реализации, разработанные в ходе данной работы, могут послужить материалом для усовершенствования ключей и алгоритмов работы iButton устройств. Предложенные в работе решения позволяют реализовать двухэтапную идентификацию с заданным ветвящимся алгоритмом, что снижает попытки злоумышленника на успех к минимуму. Разработанный макет образца (прототипа) устройства универсального идентификатора «Touch Memory» может иметь применение в служебной деятельности оперативных служб правоохранительных органов в роли универсального ключа для всех iButton устройств на территории проведения оперативных работ. Использование данного решения позволит избавиться от многочисленного количества ключей и сложностей при их эксплуатации, достаточно будет иметь при себе один универсальный ключ.

*Ключевые слова:* защита информации, идентификатор доступа, передача данных.

Обеспечение защиты информации объектов включает в себя целый комплекс организационно-технических мероприятий, среди которых можно выделить контроль и управление доступом в помещения. Для решения этой задачи на объектах вводятся определенные правила функционирования объекта, пропускной режим, а также технические средства контроля и управления доступом: контроллеры, считыватели, устройства, преграждающие управляемые, устройства исполнительные, а также идентификаторы [3, 4]. Система контроля и управления доступом играет немаловажную роль среди систем безопасности и, как правило, устанавливается после охранно-пожарной сигнализации и системы видеонаблюдения [5].

Сегодня вопросы безопасности и систем контроля и управления доступом имеют особое значение при проектировании различных систем охраны и оповещения. От них в первую очередь зависит защищённость объектов и систем, имеющих важность для государства и общества от преступных и иных посягательств злоумышленников. Здесь стоит уделить особое внимание вопросам идентификации, от которых напрямую зависит безопасность систем и объектов [1, 2].

В настоящее время системы идентификации окружают нас всюду: пароли, системы считывания отпечатков пальцев, идентификация лица и сетчатки глаза, беспроводная и контактная идентификация. Сегодня они внедрены почти во все системы безопасности. К сожалению, развитие техники и электроники привели не только к созданию таких технически продуманных методов идентификации, но и их обходу и взлому. В связи с этим вопросы устранения уязвимостей систем идентификации имеют решающее значение в сфере безопасности.

Чаще всего реализацией устройств на основе интерфейса передачи данных iButton в системах безопасности является создание ключей идентификаторов так же известных под названием «Touch Memory» или «iButton». Они представляют из себя маленькие цилиндрические корпуса из нержавеющей стали внутрь которых помещен микрочип с набором предустановленных команд. Внешне такие устройства похожи на маленькие литиевые батарейки для часов или небольшие конденсаторы [6].

Рассмотрим структуру и последовательность отправки команд к устройствам (ключам) iButton. Обмен данными начинается с импульса reset от мастера, в свою очередь ведомое устройство отвечает ему импульсом присутствия. Далее мастер отправляет ведомому команду, прочитав которую ведомый отвечает мастеру теми или иными данными [7].

В настоящее время существует стандартный список команд для slave-устройств протокола iButton:

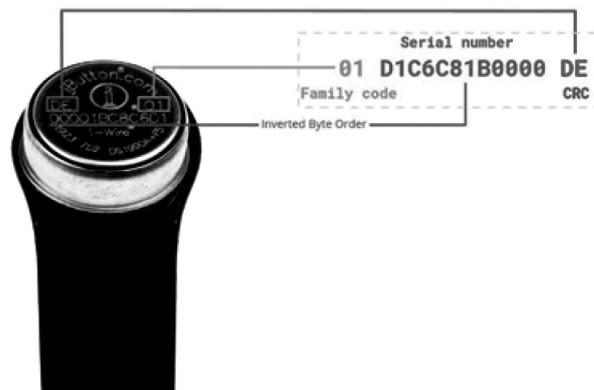


Рис. 1. Данные памяти ключа iButton

1. Команда 0x33 READ ROM (Чтение ПЗУ). Данная команда означает что master хочет получить от slave данные, записанные в его памяти (рис. 1). Применительно для ключей идентификаторов чаще всего это запрос на 64 байта памяти в которые входит код устройства, уникальный номер и байт контрольной суммы. Как альтернатива команде 0x33 может также использоваться команда 0x0F.
2. Команда 0xCC SKIP ROM (игнорирование адресации). Следующая команда говорит о том, что мы опускаем процедуру адресации к slave устройству.

Дело в том, что как говорилось ранее к интерфейсу iButton может быть подключено более чем одно ведомое устройство, таким образом необходимо осуществлять адресацию к тому устройству, от которого хотим получить данные. В случаях, когда мы знаем, что на линии лишь одно ведомое устройство мы можем пропустить этот этап.

3. Команда 0x55 MATCH ROM (Совпадение ПЗУ). Эта команда нужна для выбора конкретного устройства, чей код достоверно известен. После передачи байта 0x55 мастер передаёт полный 8-байтный код (включая код семейства, серийный номер и контрольную сумму) адресуемого устройства, младшими разрядами вперёд. Устройство, у которого зашитый в ПЗУ код соответствует переданному, переходит в активный режим, ожидая дальнейших команд.

На сегодняшний день в связи с многочисленными удачными попытками имитировать ключ iButton разработчики систем безопасности создали довольно много алгоритмов проверки подлинности. Рассмотрим основные из них:

1. При первом подключении iButton ключа к считывающему устройству master может не генерировать импульс reset, в большинстве современных систем первое подключение ведомого устройства означает, что ведомый должен сразу выдавать импульс присутствия (presense);

2. Считывающее устройства могут посылать произвольные команды на iButton идентификаторы, при этом все поступающие команды должны игнорироваться ключом;
3. В качестве основных команд могут использоваться альтернативные.

Исходя из описанных методов проверки подлинности стоит отметить, что в системах, работающих на протоколе iButton бывают и заводские уязвимости, которые не сразу удастся заметить.

Так, например в памяти нового считывателя как разрешенный идентификатор может быть запрограммирован ключ из одних единиц, или из одних нулей.

Таким образом при выборе систем стоит обращать внимание и на этот фактор, ведь он является в данном случае ключевым слабым местом.

Для более полного анализа и оценки протокола iButton был разработан макет универсального ключа Touch Memory. В ходе разработки ключа были поставлены цели по реализации создания устройства, соответствующего современным требованиям микро и радиоэлектроники, из них можно перечислить следующие:

1. Малый вес и габариты.
2. Автономность и бесперебойность.
3. Отсутствие элементов питания.
4. Возможность использования устройства в широком диапазоне температур.
5. Защита от неблагоприятных сред таких, как сырость, грязь.

За основу построения универсального ключа был взят микроконтроллер attiny 13 компании Microchip. Преимущество данного выбора заключается в возможности использования данного программируемого чипа

на достаточно низких напряжениях и малых токах, соответственно тока утечки с iButton интерфейса вполне хватит чтобы микроконтроллер нормально функционировал.

Для обеспечения малого веса и габаритов ключ был изготовлен на smd компонентах. Проектирование универсального ключа происходило в среде разработки Microchip Studio и САПР Altium designer. В среде Altium designer разрабатывалось общее устройство платы ключа.

Первым этапом было создание принципиальной схемы устройства. Схема включает в себя минимальный набор радиоэлектронных компонентов необходимых для реализации протокола iButton его работы на паразитном токе, то есть питания от линии передачи данных. В устройстве были использованы следующие компоненты (рис. 2):

- микроконтроллер Attiny 13 (корпус — soic-8);
- диод Шотки 1n5817 (корпус — sma);
- конденсатор на 1мкФ (smd-1206);
- переключатель, осуществляющий переключение между идентификаторами.

Далее с помощью встроенных инструментов программы, по принципиальной схеме была создана печатная плата будущего ключа. В ходе разработки макет печатной платы устройства получился следующих габаритов: 25x20x1.

Инструментарий программы позволяет в ходе разработки печатной платы автоматически создавать 3D модель платы (рис. 3).

После разработки чертежей и моделей платы ключа был подобран исходя из габаритов платы будущий корпус, и воссоздан в среде 3D моделирования 3D Max (рис. 4, рис. 5).

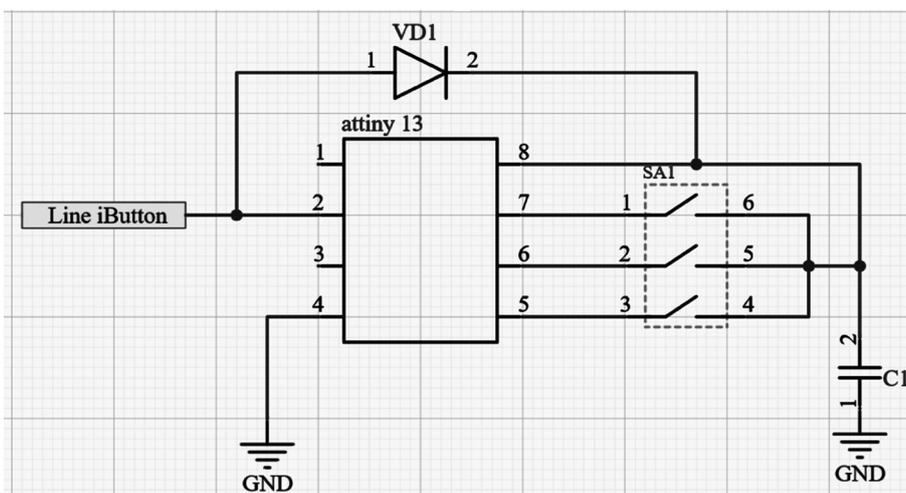


Рис. 2. Схема электрическая принципиальная образца (прототипа) устройства универсального идентификатора «Touch Memory»

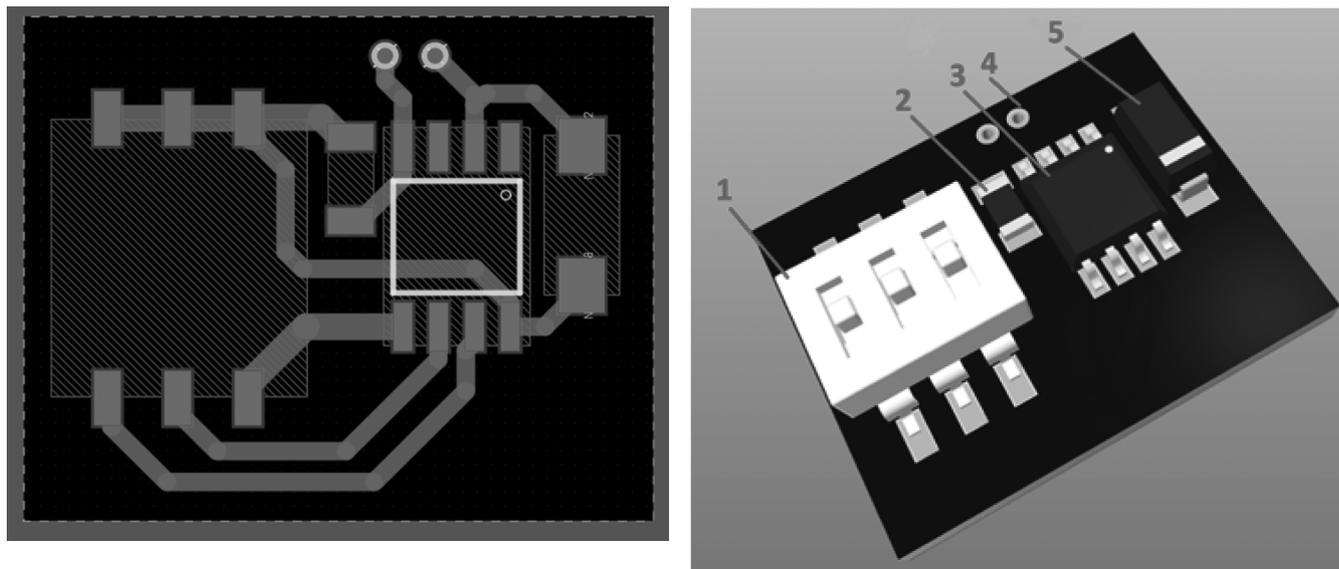


Рис. 3. Печатная плата и 3D модель

(1 — переключатель, 2 — конденсатор, 3 — микроконтроллер Attiny13, 4 — контакты для подключения контактной площадки ключа, 5 — диод 1n5817)

В последующем реальная плата была создана, и помещена в реальный корпус.

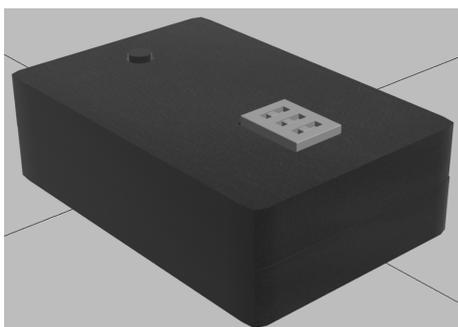


Рис. 4. 3D модель образца (прототипа) устройства универсального идентификатора «Touch Memory» в собранном виде

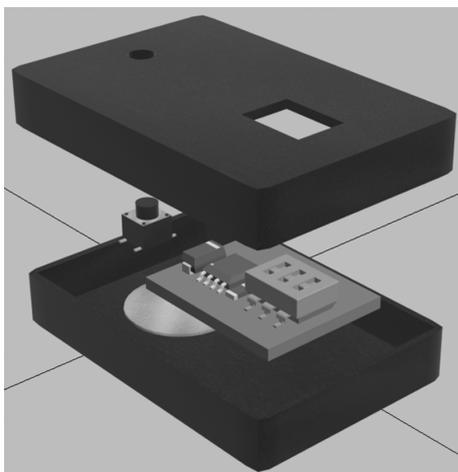


Рис. 5. 3D модель конструкции образца (прототипа) устройства универсального идентификатора «Touch Memory»

Разработанный в ходе работы образец (прототип) устройства универсального идентификатора «Touch Memory», выполненный на программируемой микросхеме, дает возможность более тонкой настройки методов и алгоритмов защиты от несанкционированного доступа злоумышленников. Несмотря на все преимущества систем, построенных на технологии iButton, они не могут обеспечить абсолютную защиту информации.

Разработанный макет образца (прототипа) устройства универсального идентификатора «Touch Memory» может иметь применение в служебной деятельности оперативных служб правоохранительных органов в роли универсального ключа для всех iButton устройств на территории проведения оперативных работ. Использование данного решения позволит избавиться от многочисленного количества ключей и сложностей при их эксплуатации, достаточно будет иметь при себе один универсальный ключ.

Следующим этапом работы будет создание программного обеспечения микроконтроллера (среде Microchip studio на языке C). Выбор данного подхода можно объяснить достаточно высокой оптимизацией прошивок, написанных в данной среде, в частности на языке C, который в свою очередь хорошо деассемблируется до двоичного кода. Стоит заметить, что Microchip studio является официальной средой поддержки микроконтроллера, поэтому ошибки при сборке проекта сведены к минимуму.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 27 июля 2006 г. № 149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации».
2. Постановление Правительства РФ от 10 июля 2019 г. N 878 «О мерах стимулирования производства радиоэлектронной продукции на территории Российской Федерации».
3. ГОСТ 17021-88 Микросхемы интегральные. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 51241-2008 Средства и системы контроля и управления доступом. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний.
5. Кубасов И.А., Лекарь Л.А. Внедрение перспективных систем мониторинга и анализа больших данных, полученных в сети Интернет, для обеспечения деятельности оперативных подразделений МВД России // Труды Академии управления МВД России. 2023. №3 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vnedrenie-perspektivnyh-sistem-monitoringa-i-analiza-bolshih-dannyh-poluchennyh-v-seti-internet-dlya-obespecheniya-deyatelnosti> (дата обращения: 21.04.2024).
6. Романов М.С. Выбор критериев оптимальности принятия решений ОВД // Охрана, безопасность, связь — 2014: материалы международной научно-практической конференции. Воронеж: Воронежский институт МВД России, 2015. С. 153–154.
7. Сагидова М.Л. Современные системы контроля и управления доступом // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2022. №9-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-sistemy-kontrolya-i-upravleniya-dostupom> (дата обращения: 21.04.2024).
8. Шуругин С.В., Матвеев А.У., Грицкевич Е.В. Разработка и анализ концептуальной модели биометрической информации с точки зрения действующей нормативно-правовой базы // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. №. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-analiz-kontseptualnoy-modeli-biometricheskoy-informatsii-s-tochki-zreniya-deystvuyushey-normativno-pravovoy-bazy> (дата обращения: 21.04.2024).

---

© Романов Михаил Сергеевич (m.romanov90@mail.ru); Петрова Елена Владиленовна (petrovsemen1@mail.ru);  
Бутов Владимир Викторович (vladimir\_butov7@mail.ru); Апальков Александр Владимирович (aleksandr.apalkov@yandex.ru);  
Паршин Сергей Владимирович (vechnosts@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОПТИМИЗАЦИЯ ОЦЕНКИ РИСКА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ, ОСНОВАННОЙ НА НЕЧЕТКИХ ЛОГИЧЕСКИХ ВЫВОДАХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ПРАВИЛ

## OPTIMIZATION OF RISK ASSESSMENT TO SUPPORT DECISION MAKING USING AN INTELLIGENT MODEL BASED ON FUZZY LOGICAL INFERENCE OF RENEWABLE RULES

*D. Suzdalsky*

*Summary.* The unreliability of wired communications and the risks of controlling the data transfer process, as well as the complexity affecting data protection and the high costs of system infrastructure, have led to the use of wireless communications. However, these networks are vulnerable to cyber-attacks. The side effects of these attacks are changing data or penetrating the security system and exposing its weaknesses, which leads to large losses. These risks and complexities have led to the move away from wired communications and towards the adoption of smart techniques and strong encryption algorithms to protect against cyber-attacks. The article presents a scenario for intelligent technology to improve the reliability of data transmission and proposes a new way to increase the level of protection, as well as reduce infrastructure costs.

*Keywords:* encryption key, encryption, fuzzy, risk assessment, WLAN.

*Суздальский Дмитрий Андреевич*  
аспирант, Российский экономический  
университет им. Г.В. Плеханова  
t7699690@gmail.com

*Аннотация.* Ненадежность проводной связи и риски контроля процесса передачи данных, а также сложность, влияющая на защиту данных, и высокие затраты на инфраструктуру системы привели к использованию беспроводной связи. Однако эти сети уязвимы к кибератакам. Побочными эффектами этих атак являются изменение данных или проникновение в систему безопасности и обнаружение ее слабых мест, что приводит к большим потерям. Эти риски и сложности привели к отказу от проводной связи и применению интеллектуальных методов и надежных алгоритмов шифрования для защиты от кибератак. В статье представлен сценарий интеллектуальной технологии для повышения надежности передачи данных и предложен новый способ повышения уровня защиты, а также снижения затрат на инфраструктуру.

*Ключевые слова:* ключ шифрования, шифрование, нечеткий, оценка риска, WLAN.

Беспроводные сети имеют наибольшие преимущества по сравнению с проводными сетями, особенно после роста спроса на использование информационных ресурсов для поддержки принятия решений, таких как способность передавать значительные объемы данных в приложениях реального времени. Однако беспроводные технологии также создают новые проблемы в передаче данных. В отличие от проводных сетей, беспроводные сети передают данные, используя радиочастотную или инфракрасную передачу. Используемая в настоящее время беспроводная технология позволяет злоумышленнику контролировать беспроводную сеть и в худшем случае может повлиять на целостность данных. Вышеупомянутые уязвимости и угрозы, возникающие при адаптации беспроводной связи, очень важны для обеспечения безопасности беспроводной сети, будь то домашняя или корпоративная сеть [1]. Это позволит снизить риски для данных пользователей, использующих эти коммуникации. Чтобы преодолеть эти риски, предлагается фреймворк применения интеллек-

туального шифрования с надежной методологией классификации для максимизации аутентичности. Шифрование — это ключ к обеспечению большей безопасности информации в сети Wi-Fi. Однако широко используемые известные методы шифрования имеют большие недостатки и уязвимы для злоумышленников из-за нарушения конфиденциальности и рисков [2]. Данные WEP передаются в 64-битном или 128-битном формате [3], но фактические ключи передачи имеют длину 40 бит или 104 бита, а остальные 24 бита представляют собой вектор инициализации (Initialization Vector, IV) для отправки в пакете вместе с данными [4].

Организация должна осуществлять непрерывный мониторинг атак и уязвимостей, а также проводить периодическую техническую оценку безопасности для мониторинга общей безопасности беспроводных локальных сетей (WLAN) [5]. Использование надежных стандартов шифрования защищает сети WLAN от самых серьезных угроз [6]. Этот метод обеспечивает новую

методологию создания интеллектуальной и самоадаптирующейся системы, основанной на создании возобновляемого правила и шифрующей данные, когда они находятся на высоком уровне риска. Такой подход является самым простым, если принять во внимание как простоту управления распределением ключей шифрования, так и снижение стоимости инфраструктуры для защиты передаваемых данных, а также достижение максимальной степени параметров шифрования (т.е. безопасности, надежности и аутентичности). Его конструкции способны снизить риски в различных ситуациях, например, шум, который влияет на точность данных, отправляемых за счет использования концепций нечеткой схемы, чтобы снизить все возможные уровни риска. Целью различных связанных методов является обеспечение безопасности данных, передаваемых через беспроводные сети, поэтому Sedghi и Kaghazgaran [7] вводят криптографию с открытым ключом для обеспечения безопасности беспроводной сети.

#### Нечеткая логика и оценка риска

Нечеткая логика — это часть искусственного интеллекта (ИИ), которая пытается решить проблему с помощью человеческого интеллекта [8, 9]. Оценки рисков в формате нечеткой логики определяются набором логических правил. Результаты оценки риска с помощью нечеткой логики облегчают принятие решений [10]. Создание системы нечеткого вывода включает в себя систему правил, которая определяет, как выходные данные выводятся из данных нечетких входных данных [11].

Для поддержки принятия решений уникальный метод правильного прогнозирования риска деятельности заключается в сборе как можно большего количества связанных исторических данных и анализе корреляции между особенностями, которые способствуют возникновению деятельности [12]. Обучение нечетким правилам в нечеткой системе поддержки принятия решений включает знания при проектировании системы, отношения ввода-вывода которой определяются набором нечетких правил [13, 14]. Теория многокритериального решения предполагает, что лицо, принимающее решение (ЛПР) полностью рационально в выборе оптимального решения [15]. Мультиагентная технология, являющаяся частью области искусственного интеллекта, также может использоваться для интеллектуальной оптимизации [16].

Оценка риска — это процесс выявления, анализа и оценки риска. Идентификация риска включает понимание источников риска и возможных проблем [17]. Функции принадлежности связаны лингвистическим союзом: «и» (для максимизации) и «или» (для минимизации). Для задачи максимизации степени принадлежности в множестве решений для оптимального решения формулируется [17]:

$$x^* = \arg[\max \min\{\mu_G(x), \mu_c(x)\}], \quad (1)$$

где  $G$  — цель, а  $c$  — ограничения. В то время как оптимальное решение через наименьшую степень принадлежности во множестве решений выглядит следующим образом [17]:

$$x^* = \arg[\min \max\{\mu_G(x), \mu_c(x)\}], \quad (2)$$

Минимизация рисков и оптимизация управления передаваемых пакетов является основной целью данного исследования. Благодаря характеристикам безопасности и надежности системы это исследование охватывает все риски ожидаемых катастроф безопасности в нескольких обстоятельствах. Было использовано наблюдение за сетью и выявление поведения злоумышленников посредством неконтролируемого обучения. Характеристики извлекаются и оцениваются после сбора данных для проверки передаваемых пакетов.

Прежде всего, основным ядром этого шага является создание нечетких правил для создания базы знаний для правил риска, которая была сформирована с помощью двух конкретных моделей следующим образом. Первый модуль представляет собой построение базы знаний о рисках. Этот модуль направлен на создание хранилища уровней риска и предметно-ориентированных решателей из части вывода для многих рисков и сосредоточения внимания на причинно-следственных связях на основе их знаний [18]. Целью второго модуля является модель результатов оценки рисков (т. е. поток в процессе принятия решений о рисках, и результаты решения возвращаются в систему для уточнения нечетких множеств и правил. Модели нечеткой логики, используемые с другими моделями риска, такими как деревья решений для моделирования сложных проблем риска). В предлагаемой системе шифрование пакетов должно быть решено с приведением к их типу. Ключевой особенностью нечетких множеств является отсутствие жестких правил определения их функций принадлежности [19]. Чтобы установить правила вывода из нечетких данных в системе безопасности WLAN, выбираются независимые и зависимые переменные, а затем принимаются нечеткие множества с числовыми значениями. В этом исследовании данные являются зависимыми переменными, а истинные пакеты — независимой переменной.

В работе предложен алгоритм, обеспечивающий достижение двух важных функций: i) безопасности данных и обеспечения их надежности и ii) создания регистрирующей автоматизированной системы безопасности. При этом используется метод, обеспечивающий более высокую безопасность передаваемых данных, которые формируются в виде пакетов. Алгоритм можно уточнить следующим образом:

а. Начальный ключ (базовый ключ) заявлен и представлен сдвиговым регистром в виде 16-битного (два байта).

б. Ключ сообщения (64 бита), представленный (4 сдвиговыми регистрами).

в. Каждый бит ключа сообщения интегрируется с выходными данными сдвигового регистра для основного ключа в соответствии со следующей последовательностью нелинейной функции:

$$Output = B_k \oplus M_k \oplus \wedge I_k \cdot \quad (3)$$

д. Указание случайной перестановки для вывода.

е. Окончательный вывод будет организован с использованием математической формы:

$$O_f = output_n \oplus \sim (P_k),$$

где  $P_k$  — бит пакета.

Получатель расшифровывает зашифрованные пакеты с помощью обратного цикла предложенного алгоритма, который показан на рисунках 1 и 2 соответственно. На рисунке 1 представлена обобщенная блок-схема предлагаемой системной архитектуры, в которой для классификации пакетов использовался наивный байесовский классификатор и генератор возобновляемых правил с базой уровня риска для оптимизации оценки риска.

Предлагаемые правила и математическая гипотеза используются для улучшения и введения фактов и правил с помощью логической и дискретной теории. Индуктивные правила: modus ponens, modus tollens, сложение, упрощение, гипотетический силлогизм, дизъюнктивный силлогизм и разрешение. Модели правил рассуждений вывода определяют правила предлагаемой системы.

Анализируя данные, можно выделить четыре переменных параметра QoS. Они включают задержку, колебания задержки передачи пакетов, потерю пакетов и про-

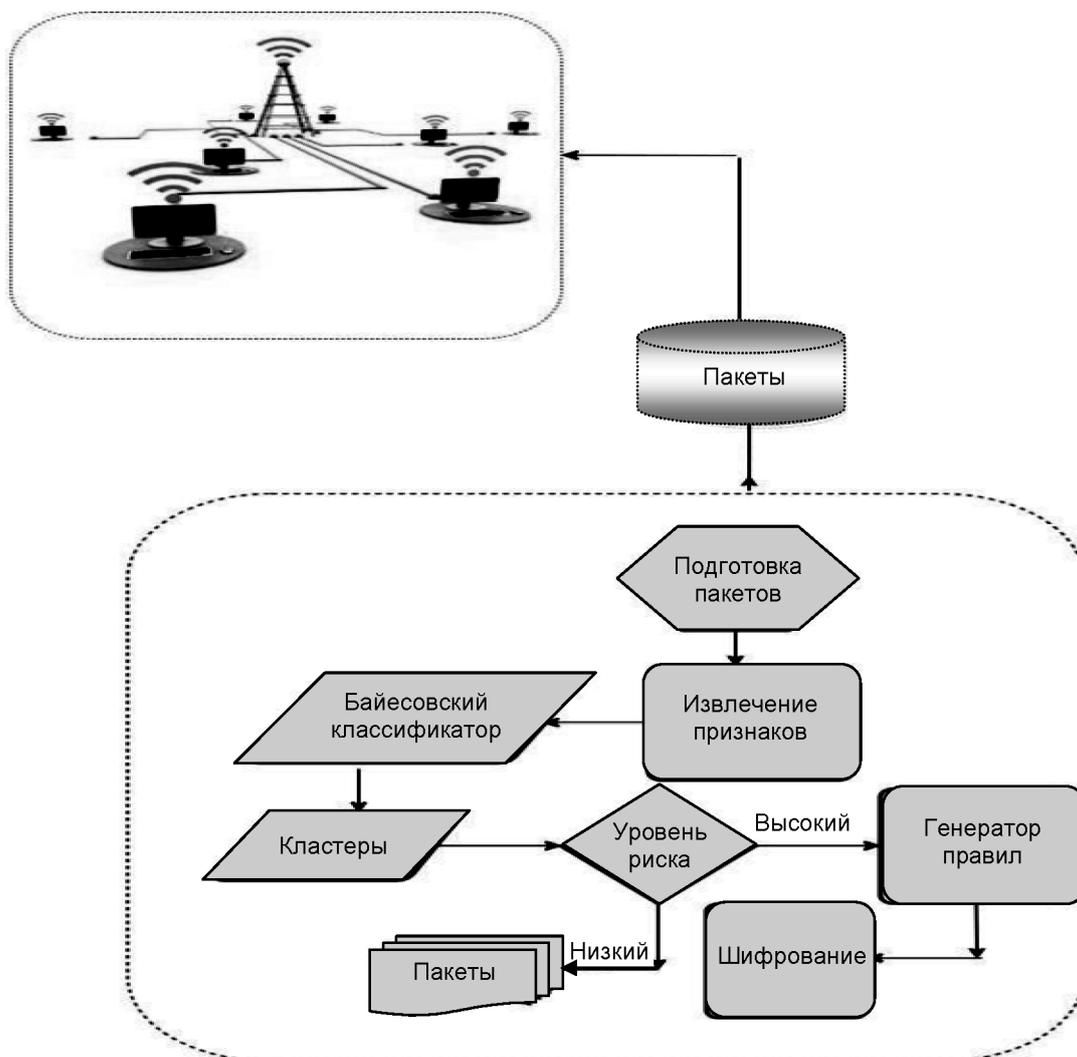


Рис. 1. Блок-схема предлагаемой системы

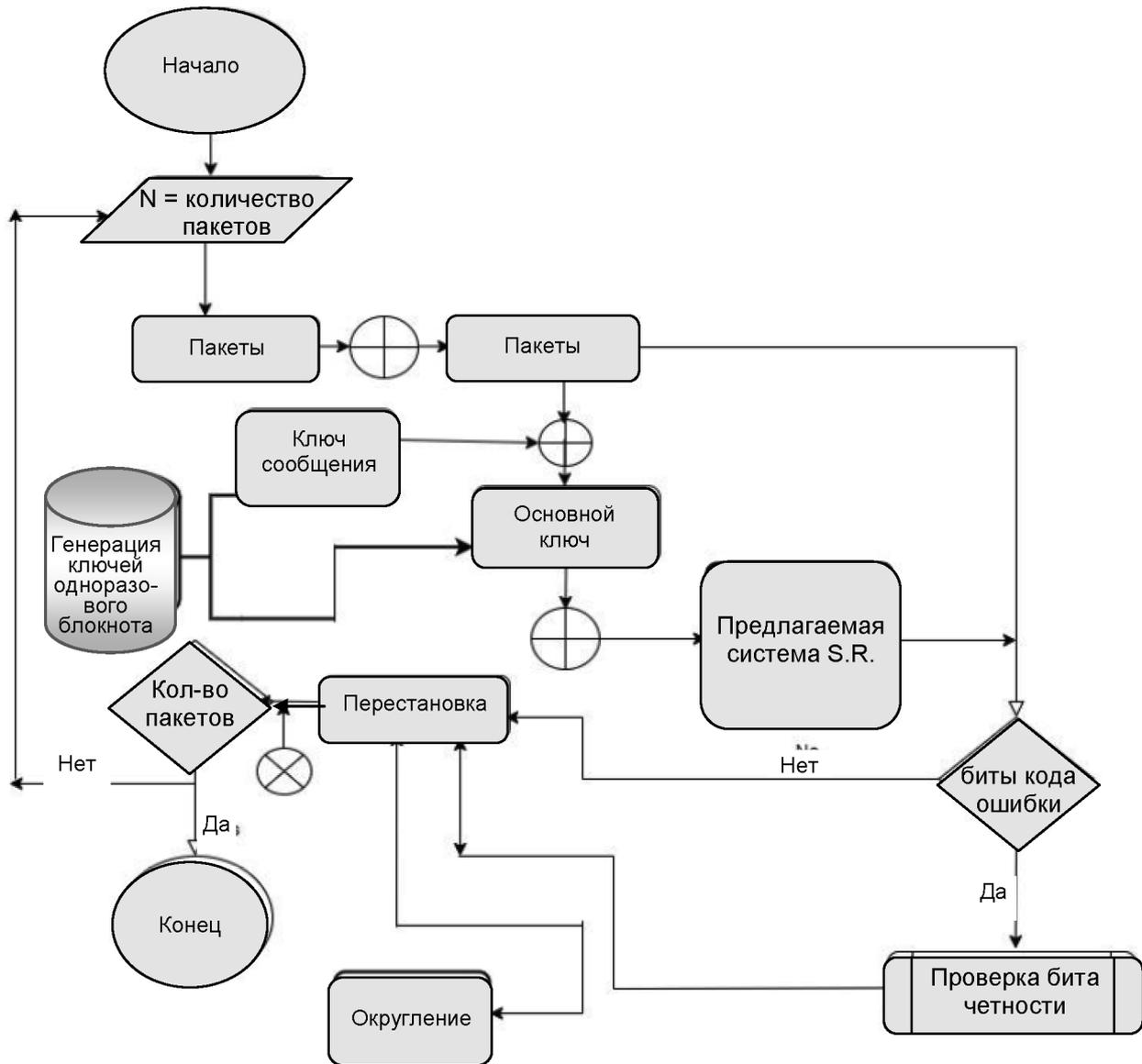


Рис. 2. Предлагаемая система с контролем безопасности

пускную способность. Метод анализа данных о качестве IP-сети реализован путем расчета значения каждого параметра качества обслуживания, такого как коэффициент задержки, который представляет собой количество задержек, разделенное на количество принимаемых пакетов, и процент потери пакетов [21], как показано в (4):

$$\text{percentage Packet Loss} = \frac{(\text{Number of sent packets} - \text{Number of received packets})}{\text{Number of sent packets}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Number of Packets} \times 8}{\text{Simulation time}} \quad (5)$$

Предлагаемая система достигает этих параметров качества обслуживания для передаваемых пакетов после оптимизации риска, как неявно показано ниже в таблицах 2 и 3.

В качестве классификатора можно использовать наивный Байес классификатор, основанный на статистической теореме Байеса и атрибутах и гипотезах независимости. Это описательный метод и независимая модель признаков. Наивные байесовские классификаторы можно очень эффективно обучать на обучающем наборе с учителем. Для оценки параметров используется метод максимального правдоподобия. На рисунке 3 представлены каскадные этапы этого метода, где вероятность классификации можно определить с помощью (6).

$$P(H|X) = \frac{P(X|H)P(H)}{P(X)}, \quad (6)$$

где  $P(H|X)$  — апостериорная вероятность  $H$ , обусловленная  $X$ . Напротив,  $P(H)$  — априорная вероятность  $H$ . Аналогично,  $P(X|H)$  — апостериорная вероятность  $X$ , обусловленная  $H$ .  $P(X)$  — априорная вероятность  $X$ .

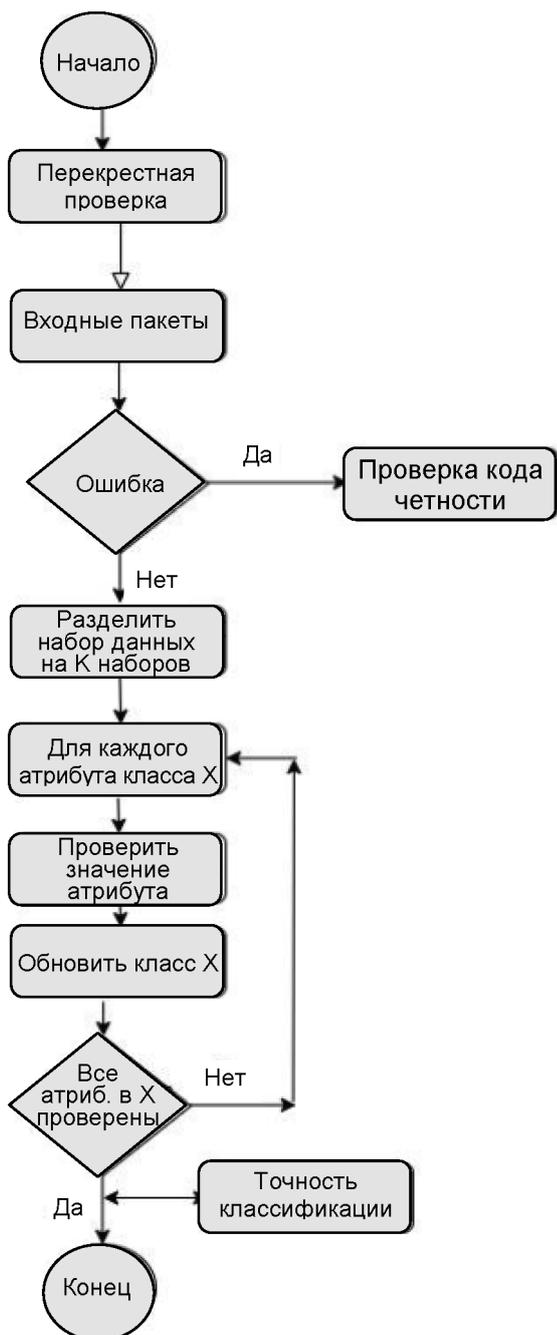


Рис. 3. Наивный байесовский классификатор

Это метод оценки значений параметров  $\theta = (K, (n)k, hk)$ , который основан на информации из данных  $up$  (выраженной в распределении вероятностей  $f(y|\theta)$ ) и информации о параметре  $\theta$  (выражается в априорном распределении  $\pi(\theta)$ ) [22].

Оценка риска является целью данного исследования, так что задачей предлагаемого метода является максимизация надежности и конфиденциальности данных и сети за счет снижения и минимизации уровня риска. В таблице 1 представлена оценка рисков и правил, где есть три параметра для назначения шифрования с ис-

пользованием предложенной модели, управляемой и контролируемой через порог. Порог указан, изменен и обновлен в соответствии с конфиденциальностью данных и размером пакета. Итак, управление рисками — это идентификация, оценка и приоритезация рисков (путем измерения рисков) с последующей координацией и экономичным применением ресурсов для минимизации, мониторинга и контроля вероятности и/или воздействия неблагоприятных событий (путем обработки рисков) [23].

Таблица 1.

Оценка рисков и правил

Размер пакетов	Риск	Шифрование
Малый	Низкий	Негативное
Большой	Низкий	Позитивное
Малый	Средний	Негативное
Большой	Средний	Позитивное
Малый	Высокий	Негативное
Большой	Высокий	Позитивное
Малый	Очень Низкий	Негативное
Большой	Очень Низкий	Негативное
Малый	Очень Высокий	Негативное
Большой	Очень Высокий	Позитивное

Таблица 2.

Принятие решений и тип атаки

Тип атаки	Размер пакетов	Порог риска	Уровень риска	Шифрование (Решение)
Маскировка	Малый	0,213	Низкий	Негативное
Фальшивая точка доступа	Большой	0,681	Низкий	Позитивное
MITM	Малый	0,114	Средний	Негативное
DOS	Большой	0,752	Средний	Позитивное

В таблице 2 представлены средства поддержки при принятии решений для данных, передаваемых через WLAN, по сравнению с вероятными рисками. Злоумышленники могут попытаться найти уязвимости разными методами [24]. Существуют различные типы атак с шифрованием, как показано в Таблице 2, где уровень риска зависит от типа атаки. Следовательно, всестороннее изучение методов атаки является важной темой для выявления рисков с использованием предлагаемой модели. В этой таблице показаны соответствующие типы атак в соответствии с их методами и уровнем риска при применении методов обеспечения безопасности данных в подходящем и конфиденциальном режиме.

В таблице 3 представлена точность классификации пакетов с использованием наивного байесовского классификатора. Измерение энтропии используется как инструмент для проверки производительности полу-

Точность кластеризации предлагаемой системы

TP Rate*	FP** Rate	Точность	Отклик	F-мера	МСС	ROC Area	PRC Area	Уровень риска
0,973	0,007	0,955	0,937	0,946	0,937	0,997	0,986	Низкий
1.000	0,000	1.000	1,0000	1,0000	1.000	1,0000	1.000	Низкий
0,793	0,024	0,842	0,793	0,817	0,789	0,974	0,889	Средний
0,845	0,040	0,785	0,845	0,814	0,781	0,976	0,875	Средний
0,770	0,030	0,801	0,770	0,785	0,752	0,974	0,840	Высокий
0,970	0,010	0,946	0,970	0,958	0,950	0,998	0,991	Высокий
1.000	0,001	0,995	1.000	0,998	0,997	1.000	1.000	Очень Низкий
Взвешенное среднее	0,904	0,016	0,904	0,904	0,904	0,888	0,989	0,941

\*TP Rate — истинно положительный результат

\*\*FP Rate — ложный положительный результат

ченного классификатора, который обнаруживает набор пакетов в определенном кластере. Итак, если набор пакетов (M) принадлежит кластеру, то:

$$\text{Энтропия } (S) = -p+ \log_2(p+) - p - \log_2(p-) \quad (7)$$

Производительность измеряется точкой зрения отклика модели и точности. Точность — это общее количество положительных классов, классифицированных соответствующим образом, разделенное на общее количество данных, отнесенных к категории положительных [25].

В качестве примера для проверки точности предлагаемой системы был использован пакет с открытым исходным кодом Weka для классификации и кластеризации данных на основе наивного байесовского классификатора со следующими характеристиками:

- количество экземпляров = 1500;
- многофакторный для всех атрибутов на основе региональной ориентации;
- тестовые операции: перекрестная проверка;
- формат выходного прогноза: CSV;
- кластеризация с использованием обучающего набора.

Результаты:

- минимум = 1;
- максимум = 254;

- среднее = 125,197;
- стандартное отклонение = 73,228.

Таким образом, приходим к выводу, что число (1356) правильно классифицированных случаев, что соответствует (90,4 %) уровню точности для средневзвешенного значения для всех возможных уровней риска, и (144) неправильно классифицированным случаям (т.е. 9,6 %) уровню точности. Уровень полноты и точности реализованной предложенной методики составляет 95 % с очень низким минимальным риском.

Таким образом, оптимизационная оценка уровня рисков является основным ключом к минимизации рисков посредством шифрования данных. В данной работе минимизация риска основана на предложенной системе шифрования. Предлагаемые модели основаны на этапах обучения, обучения и классификации, чтобы быть адаптируемыми и невосприимчивыми к различным атакам. Был использован пакет с открытым исходным кодом WEKA, основанный на простых байесовских классификаторах со специфическими функциями. Средний показатель точности составил 90,4 %. Отклик модели и число правильно классифицированных случаев отражают уровень точности, составивший 95 %, с очень низким минимальным риском.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Subramani M., Kumaravelu V.B. A fuzzy based vertical handover network selection scheme for device to device communication // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2020. Vol. 17. No. 1. Pp. 324–330.
2. Sulaiman M.S. Course recommendation system using fuzzy logic approach // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2020. Vol. 17. No. 1. Pp. 365–371.
3. Abdullah M.H. A. Evolving spiking neural networks methods for classification problem: a case study in flood events risk assessment // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2019. Vol. 16. No. 1. Pp. 222–229.
4. Ameer C. Intelligent optimization and management system for renewable energy systems using multi-agent // IAES International Journal of Artificial Intelligence (IJ-AI). 2019. Vol. 8. No. 4. Pp. 352–359.

5. Fallahpour A. A fuzzy decision support system for sustainable construction project selection: an integrated fpp-fis model // Journal of Civil Engineering and Management. 2020. Vol. 26. No. 3. Pp. 247–258.
  6. Xin S. Research on Fuzzy Adaptive Intelligent Decision-making in Complex Environment // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Pp. 3–12.
  7. Ameen N. Comparative analysis of energy based optimized dynamic source multipath routing protocol in WSNs // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2019. Vol. 16. No. 1. Pp. 441–455.
  8. Hadzic O., Smajo B. Risk assessment for ancillary services // International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE). 2019. Vol. 9. No. 3. Pp. 1561–1568.
  9. Khan F. I. Security assessment of four open source software systems // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2019. Vol. 16. No. 2. Pp. 860–881.
  10. Jupri M., Sarno R. Data mining, fuzzy AHP and TOPSIS for optimizing taxpayer supervision // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science. 2020. Vol. 18. No. 1. Pp. 75–87.
- 

© Суздальский Дмитрий Андреевич (t7699690@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ И ОЦЕНКОЙ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА ДЛЯ АНАЛИЗА АКЦИЙ НА ФОНДОВОМ РЫНКЕ

## ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF APPLYING GENERATIVE ADVERSARY NEURAL NETWORK TAKEN INTO ACCOUNT OF HISTORICAL DATA AND ASSESSMENT OF TEXT TONE FOR ANALYSIS OF STOCKS IN THE STOCK MARKET

*A. Tereshenko*

*Summary.* This publication is part of a study in the field of systems analysis of the stock market and focuses on assessing the effectiveness of the use of generative adversarial neural networks (GAN) taking into account historical data and sentiment analysis of the text. The author considers the possibility of using this technology to analyze the dynamics of shares on the stock market. The results of the study are of particular interest because the author suggests that predicting stock prices is impossible. This aspect becomes especially relevant in the context of using neural networks to test this statement.

*Keywords:* neural networks, dataset, system analysis, discriminator, sentiment assessment.

**Терешенко Андрей Алексеевич**

Аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) Федеральный Университет имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск  
*andrey.tereshenko2017@mail.ru*

*Аннотация.* Данная публикация является частью исследования в области системного анализа фондового рынка и сосредотачивается на оценке эффективности применения генеративно-сопоставительных нейронных сетей (GAN) с учетом исторических данных и анализа тональности текста. Автором рассматривается возможность использовать эту технологию для анализа динамики акций на фондовом рынке. Результаты исследования представляют особый интерес, поскольку автор предполагает, что предсказание цен акций является невозможным. Этот аспект становится особенно актуальным в контексте использования нейронных сетей для проверки данного утверждения.

*Ключевые слова:* нейронные сети, датасет, системный анализ, дискриминатор, оценка тональности.

В современном мире фондовый рынок играет ключевую роль в экономическом развитии страны, обеспечивая финансирование корпоративных проектов, стимулируя инновации и способствуя росту национального богатства. Для России, как для страны с развивающейся экономикой и амбициозными планами по модернизации, участие простых граждан в инвестировании на фондовом рынке приобретает особенное значение. На данный момент спрос на инвестирование в нашей стране невелик, но за счёт системного анализа мы можем постепенно повысить его. Системный анализ, в силу своего интегративного подхода, представляет собой мощный инструмент для решения сложных проблем, включая слабый интерес к инвестированию на фондовом рынке. Рассматривая фондовый рынок как сложную систему, системный анализ позволяет анализировать множество взаимосвязанных компонентов, таких как инвесторы, компании, регулирующие органы, и макроэкономические факторы. Моделирование и анализ, используемые в рамках системного анализа, помогают изучить поведение системы в различных ус-

ловиях и оценить эффективность различных сценариев инвестирования. Учет многофакторности позволяет системно анализировать влияние экономических, политических, и технологических факторов на рыночные процессы. Кроме того, системный подход способствует оптимизации распределения инвестиционных ресурсов и управлению рисками, путем выявления наиболее перспективных секторов и компаний для инвестирования, а также разработки стратегий диверсификации портфеля и применения инструментов хеджирования. Таким образом, системный анализ представляет собой комплексный подход к решению проблемы, позволяя учитывать многообразие факторов, влияющих на рыночные процессы, и разрабатывать эффективные стратегии для их улучшения.

Согласно Тарасенко Ф. П., в контексте прикладного системного анализа выявление проблемы является важнейшим этапом, так как позволяет сконцентрироваться на решении ключевого аспекта, оказывающего значительное воздействие на общую работу системы [1, 14с].

Определение главной проблемы обеспечивает направленность аналитических усилий и помогает эффективно распределять ресурсы для создания стратегий и решений, направленных на её устранение [2]. Этот подход способствует более глубокому и систематическому пониманию причин и механизмов функционирования системы, что, в свою очередь, повышает шансы на успешное решение проблемы. Глобальной проблемой в моём исследовании является недостаточный интерес людей в нашей стране к инвестированию на фондовом рынке. Мои исследования, опросы различных возрастных групп, проведенные в рамках написания диссертации, показали, что данная проблема состоит из ряда малых, но важных аспектов [3]. Одним из них является то, что существует распространенное убеждение среди людей о возможности прогнозирования цен акций, преимущественно на основе анализа новостных событий и их влияния на финансовые рынки. На первый взгляд сама идея предсказания цен акций является абсурдной и неосуществимой в реальном мире. Это мнение подкреплено не только эмпирическими наблюдениями, но и теоретическими размышлениями о природе финансовых рынков. Однако, для обоснования этого утверждения требуется подтверждение.

В современной эпохе нейронные сети и методы машинного обучения приобретают все большую популярность. Их применение в контексте финансовых рынков представляет собой перспективный инструмент для решения различных задач. Нейронные сети в настоящее время активно применяются на фондовом рынке для прогнозирования динамики ценных бумаг и определения оптимальных стратегий инвестирования. Они используются для анализа больших объемов данных, включая исторические данные о ценах, объемах торгов, финансовых показателях компаний, новостях и социальных медиа. Нейронные сети способны выявлять сложные закономерности и нелинейные зависимости в этих данных, что позволяет анализировать возможные будущие тенденции. Кроме того, они могут использоваться для создания алгоритмов торговли, которые автоматически адаптируются к изменяющимся условиям рынка и могут обеспечить оптимальное исполнение сделок. Эти методы находят применение как в высокочастотной торговле, так и в инвестиционном управлении. Информационные технологии, особенно нейронные сети, тесно связаны с системным анализом из-за их способности обрабатывать большие объемы данных и выявлять скрытые закономерности в сложных системах. Нейронные сети, моделирующие работу человеческого мозга, способны адаптироваться к разнообразным задачам, осуществлять классификацию, прогнозирование и оптимизацию, что делает их мощным инструментом для анализа сложных систем. Системный анализ, в свою очередь, предполагает изучение взаимосвязей и взаимодействий между элементами системы, а также выявление

её структуры и функционирования. В совокупности информационные технологии и нейронные сети предоставляют возможности для анализа данных, извлечения значимых паттернов и обнаружения скрытых зависимостей в системах, что делает их неотъемлемой частью современного системного анализа. Цель же данной публикации заключается в оценке эффективности стратегии инвестирования в акции на российском фондовом рынке, основанной на анализе новостной информации и настроений людей. В рамках исследования будет проведена проверка данной методики инвестирования с использованием генеративно-сопоставительных сетей (GAN) для оценки ее эффективности. Используя терминологию, GAN — это тип нейронных сетей, в котором две нейронные сети, генератор и дискриминатор, соревнуются друг с другом в игре с нулевой суммой. Генератор создает данные, постепенно улучшая их качество, в то время как дискриминатор пытается различить реальные данные от сгенерированных. Цель GAN заключается в создании реалистичных данных, которые неотличимы от реальных, и обучении модели на основе имеющихся данных без прямого участия человека [4]. Применение этих сетей для изучения акций на фондовой бирже с учётом общественного мнения и новостных сообщений, различных постов представляет собой новаторский подход, основанный на объединении реальных финансовых данных. GAN можно обучить на исторических временных рядах стоимости акций, новостных заголовках и публикациях в социальных сетях, чтобы анализировать будущие тенденции. Кроме того, модуль для определения настроения, использующий анализ тональности текста, может быть интегрирован для оценки общей позиции инвесторов. Это позволяет принимать во внимание человеческий фактор и новостные события для анализа динамики рынка. Таким образом, подход, основанный на GAN, обеспечивает более глубокое изучение фондового рынка с учётом множества факторов, включая общественное мнение и новостные события.

Сбор данных играет ключевую роль в научных исследованиях и разработке технологий по многим причинам. Первоначально, данные позволяют исследователям выявлять паттерны, тенденции и взаимосвязи в информации, что существенно помогает понять влияние различных факторов на исследуемые явления или определить важные параметры для разработки технологий [5]. Кроме того, сбор обширного и разнообразного набора данных необходим для обучения моделей машинного обучения, что в свою очередь позволяет строить более точные и обобщающие модели. Данные также необходимы для оценки производительности алгоритмов и моделей в реальных условиях, а также для проверки полученных результатов на статистическую значимость и устойчивость. Наконец, собранные данные используются для разработки моделей прогнозирования, аналитических инструментов и систем поддержки принятия решений,

что важно для планирования действий и управления рисками. В целом, сбор данных является основой для научных исследований, инноваций и развития технологий в различных областях науки и промышленности. Инициатива по сбору данных началась с создания обширного набора информации, включающего новости и публикации о крупной компании — Мобильные ТелеСистемы (далее — МТС). Этот набор включает в себя широкий спектр данных, в том числе общественные отзывы, комментарии и аналитические материалы. Собранный датасет предоставляет ценную основу для анализа реакции общественности на деятельность компании МТС, а также для выявления трендов и образования прогностических моделей в области рыночной динамики и общественного мнения. Таким образом, был собран набор данных, включающий в себя четыре категории информации: дату, начиная с июня 2023 года и заканчивая апрелем 2024 года, текстовую информацию: различные посты, новости, идентификатор (тикер) и название компании.

При оценке тональности, использовалась нейросеть, разработанная для оценки полярности настроений в тексте. Методика основана на словаре, который содержит оценки тональности для слов, а также правила для обработки устойчивых конструкций и эмоциональных интенсификаторов, также особенностью является то, что учитывается особенности выражения эмоций в онлайн-коммуникациях, таких как социальные медиа. Рассмотрим подробнее. Нейросеть Dostoevsky, созданная специально для анализа тональности русскоязычных текстов, применяет методы NLP и глубокого обучения, такие как рекуррентные нейросети (RNN) и трансформаторные модели, для обработки последовательных данных, подобных текстам [6,7]. Набор данных RuSentiment включает размеченные по тональности тексты на русском языке, относящиеся к различным темам, таким как отзывы о продуктах, фильмах и книгах. Обучение модели происходит на основе этого набора данных с использованием методов обучения с учителем, что позволяет выявлять в текстах закономерности и паттерны, связанные с определёнными эмоциональными оттенками, такими как положительный, отрицательный или нейтральный, благодаря чему модель успешно анализирует и классифицирует тональность текстов [8]. Сеть Vader, применяется для анализа настроений в текстовых данных. Она часто используется в сфере обработки естественного языка для определения тональности текста и выявления позитивных, негативных или нейтральных эмоциональных состояний [9]. В своей работе она использует словарь, включающий слова с их оценками настроения, и правила для обработки сочетаний слов. Алгоритм Vader рассчитывает общую эмоциональную направленность текста, принимая во внимание его контекст и языковые особенности, что позволяет определить окраску текста с высокой точностью. В результате анализа настроений были получены средние оценки полярности

всех ранее собранных постов и новостей о компании. В таблице 1, можно увидеть итоговую датасета с обработанными данными.

Таблица 1.  
Часть обработанных результатов оценки тональности

Дата поста	Оценка настроений
2024-04-22	0.8677
2024-04-22	0.643
2024-04-22	0.4871
2024-04-22	0.844

Далее был собран второй датасет для построения графика акции. Были использованы библиотеки Pandas, Matplotlib, Seaborn и др [10]. Из собранного датасета были загружены данные о ценах акций за каждый день начиная с июня 2023 года и заканчивая апрелем 2024 года, включая цену открытия и закрытия, максимальную и минимальную цены за день, а также объем торгов. Данный временной промежуток соответствует датам в первом датасете. После загрузки данных они были обработаны, включая преобразование формата даты и времени, и подготовлены для построения графика. Затем с помощью Matplotlib был создан график, отображающий изменение цен акций в течение выбранного периода времени. Таким образом, используя Seaborn и Matplotlib, был создан график акций, представленный на рисунке 1, что соответствует реальному графику, а значит построение было выполнено верно.

При создании архитектуры модели GAN использовались следующие параметры: генератор с 5 блоками LSTM, дискриминатор имеет 5 сверточных и 3 плотных слоя с сигмовидной функцией активации. На рисунке 2 показан результат работы. На этом рисунке можно увидеть пунктирную линию, она соответствует прогнозируемой цене, именно так это видит нейросеть, сам график представлен зеленым цветом. Данный участок соответствует графику представленному на рисунке 1.

В ходе проведённого исследования был сделан вывод о том, что модель генеративно-состязательных сетей (GAN) проявляет значительную эффективность в определенных задачах, но наблюдаемое слишком высокое отклонение еще раз подтверждает основной посыл исследования: невозможно предсказать цену акции, даже используя нейронные сети. Предсказание цен акций — это сложная и на данный момент нереализуемая задача. Она требует учета множества переменных, таких как экономические, политические и социальные факторы. Несмотря на применение передовых технологий, точность прогнозов остается невысокой из-за нескольких ключевых причин. Во-первых, финансовые рынки сложны и динамичны, подверженные влиянию множества факторов, что делает моделирование их поведения

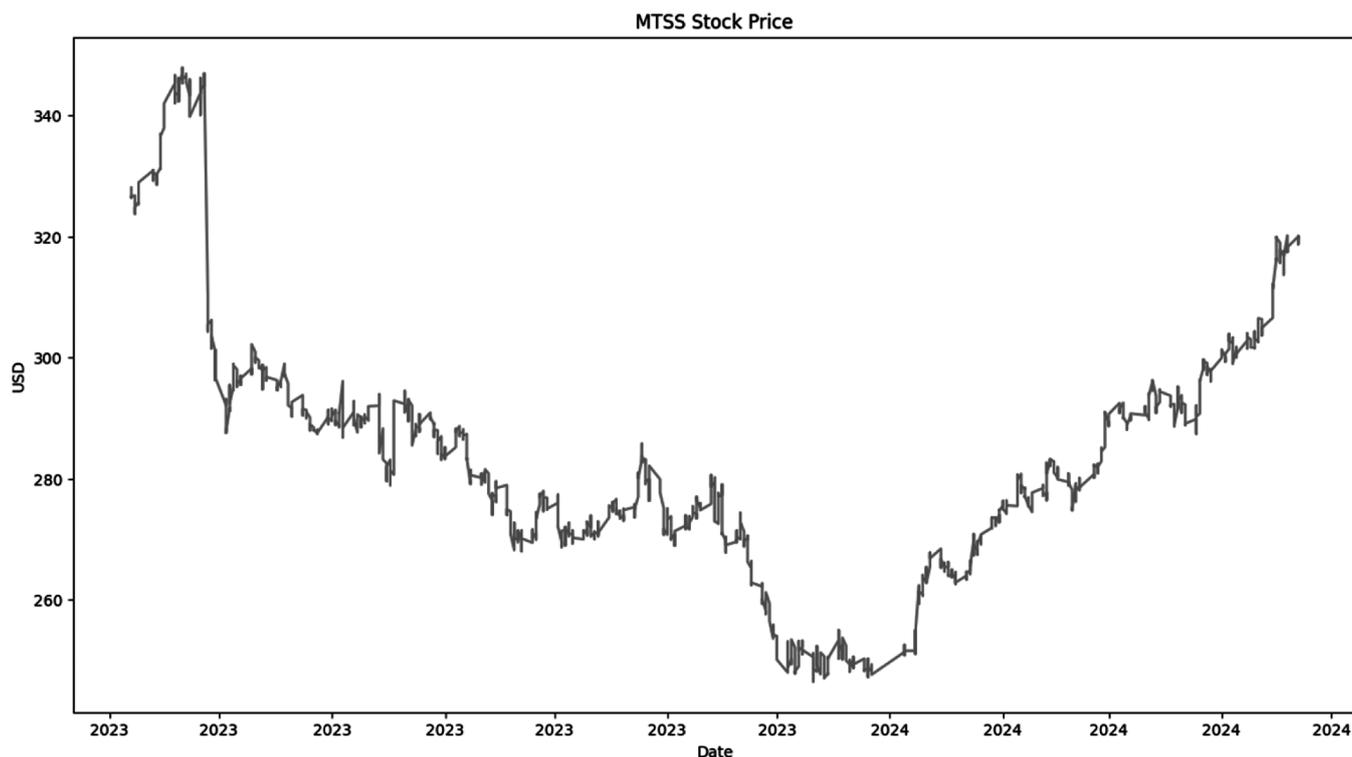


Рис. 1. График компании



Рис. 2. Результат работы нейронной сети

сложной задачей. Во-вторых, рынки характеризуются высокой степенью неопределенности и случайными колебаниями, что усложняет прогнозирование. Кроме того, ограничения данных и изменение рыночных условий со временем также вносят свои сложности. И даже с применением передовых методов исследования пока-

зывают, что точность прогнозов остается невысокой. Что показало и данное исследование. В свете этих ограничений данную модель могут рассматривать профильные компании, но лишь как вспомогательный инструмент в сфере анализа, который сможет помочь инвесторам принимать более информированные решения.

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ: учебное пособие / Ф.П. Тарасенко. — М.: КИОНУС. — 2010. — 224 с.
2. Качала В.В. Теория систем и системный анализ: учебник для студ. учреждений высшего профессионального образования / В.В. Качала. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 272 с.
3. Анализ активности частных инвесторов на фондовом рынке в 2024 году [Электронный ресурс]: — URL: <https://alfabank.ru/make-money/investments/learn/t/dolya-chastnikh-investorov-v-oborotakh-mosbirzhi-padaet/>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)
4. Основы генеративно-состязательных сетей / Хабр [Электронный ресурс]: — URL: <https://habr.com/ru/articles/726254/>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)
5. О важности датасета и о том, как сделать его лучше — опыт компании / Хабр [Электронный ресурс]: — URL: <https://habr.com/ru/articles/678808/>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)
6. Dostoevsky — анализ тональности в Python за 5 минут. [Электронный ресурс]: — URL: <https://egorovegor.ru/analiz-tonalnosti-s-python-i-dostoevsky/>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)
7. Dostoevsky — нейросеть для анализа текста. [Электронный ресурс]: — URL: <https://github.com/bureaucratic-labs/dostoevsky>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)
8. RuSentiment — набор данных для оценки анализа текста на русском языке. Источник: <https://egorovegor.ru/analiz-tonalnosti-s-python-i-dostoevsky> [Электронный ресурс]: — URL: <https://github.com/text-machine-lab/rusentiment>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)
9. Vader: A Comprehensive Guide to Sentiment Analysis [Электронный ресурс]: — URL: <https://medium.com/@rslavanyageetha/vader-a-comprehensive-guide-to-sentiment-analysis-in-python-c4f1868b0d2e>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)
10. Топ 6 библиотек Python для визуализации: какую и когда лучше использовать? / Хабр [Электронный ресурс]: — URL: <https://habr.com/ru/companies/otus/articles/558478/>, свободный (дата обращения: 01.05.2024)

---

© Терешенко Андрей Алексеевич (andrey.tereshenko2017@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ ПРИЮТА ДЛЯ ЖИВОТНЫХ

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE  
TECHNOLOGIES TO AUTOMATE  
THE PROCESS OF IMPLEMENTING  
AN INFORMATION SYSTEM USING  
THE EXAMPLE OF AN ANIMAL SHELTER

*K. Uzorov  
K. Mikhienkov  
T. Abanin*

*Summary.* This article discusses the possibility of automating business processes using artificial intelligence using the example of an animal shelter. A solution is proposed that automates the process of adding information about new pets to the accounting system. To assess the effectiveness of the proposed solution, three parameters were set: the average time of registration of one pet, the total time for entering information, the time for creating a description, and the quality of the description. The results of this study showed that using the proposed approach can significantly reduce the execution time of the processes of introducing new information into the system and have a significant impact on the business processes of the shelter, which was shown using diagrams in BPMN notation.

*Keywords:* automation, machine learning, convolutional neural network, microservice architecture, REST API, animal shelter.

## Введение

В настоящее время автоматизация сложных задач, решение которых сводится к нескольким частично автоматизированным подзадачам, требует вовлечения человека в процесс управления средствами автоматизации [1]. Однако развитие информационных технологий, в частности искусственного интеллекта, на данный момент позволяет вывести уровень автоматизации на новый уровень, значительно уменьшив или полностью исключив участие человека в процессе выполнения рутинных задач.

Данная тема особенно актуальна для бизнеса, так как использование технологий искусственного интеллекта позволяет снижать трудозатраты и улучшать оперативность, позволяя компаниям быстрее реагировать на изменения рынка, уменьшать издержки и повышать прибыль [2] [3].

**Узоров Кирилл Александрович**

Российский технологический университет —  
МИРЭА (Москва)  
uzorov.kirill@mail.ru

**Михиенков Кирилл Станиславович**

Российский технологический университет —  
МИРЭА (Москва)  
mikhienkov@inbox.ru

**Абанин Тимофей Дмитриевич**

Младший специалист по разработке ПО ООО  
«ПРОТЕКШЕН ТЕХНОЛОДЖИ»  
bookgun@mail.ru

*Аннотация.* В данной статье рассматривается возможность автоматизации бизнес-процессов с использованием искусственного интеллекта на примере приюта для животных. Предлагается решение, которое автоматизирует процесс добавления информации о новых питомцах в систему учета. Для оценки эффективности предлагаемого решения были установлены три параметра: среднее время регистрации одного питомца, общее время внесения информации, время создания описания, качество описания. Результаты данного исследования показали, что использование предлагаемого подхода позволяет существенно снизить время выполнения процессов внесения новой информации в систему и оказать существенное влияние на бизнес-процессы приюта, что было показано с использованием диаграмм в нотации BPMN.

*Ключевые слова:* автоматизация, машинное обучение, свёрточная нейронная сеть, микросервисная архитектура, REST API, приют для животных.

Однако в сфере некоммерческих организаций, доход которых формируется исключительно за счёт добровольных пожертвований, проблема снижения трудозатрат и повышения эффективности использования имеющихся ресурсов стоит не менее остро.

Приют для животных — это организация или учреждение, созданное с целью осуществления деятельности по содержанию животных, в том числе животных без владельцев, животных, от права собственности на которых владельцы отказались [4].

Приюты являются одной из ключевых составляющих защиты животных и выполняют четыре основных функции:

1. оперативная помощь и забота о животном, включая облегчение страданий посредством ветеринарной помощи или эвтаназии;
2. долгосрочная забота о животном, не нашедшем немедленно старого или нового хозяина;

3. усилия по воссоединению потерянного животного с его прежним хозяином;
4. поиск нового места обитания или нового хозяина для бездомного животного [5]

В настоящее время приюты сталкиваются с рядом проблем, среди которых: недостаток сотрудников, отсутствие финансирования и трудности сбора пожертвований, сложности коммуникации с потребителями услуг приютов. [6] С учётом указанных ограничений крайне остро встаёт вопрос использования имеющихся ресурсов предприятия с максимальной эффективностью.

### Актуальность работы

Данное исследование направлено на создание интеллектуальной системы, принимающей входные данные в виде единого массива информации и распределяющей эти данные внутри системы по заданным механизмам и установленным принципам хранения информации. Эта работа также предоставляет универсальный инструмент автоматизации процесса внесения информации с возможностью добавления к существующей системе посредством применения принципов микросервисной архитектуры. Сравняется эффективность внесения информации с использованием предлагаемого решения и без него, используются данные, собранные в результате анализа приютов для животных.

Основные результаты данного исследования резюмируются следующим образом:

1. Данная статья представляет собой одно из исследований, проведенных для рассмотрения способов автоматизации бизнес-процессов с использованием технологий искусственного интеллекта на примере приюта для животных с оценкой влияния предложенного решения на внутренние бизнес-процессы.
2. Две архитектуры нейронных сетей, а именно: сверточная нейронная сеть InceptionV3 и GIT (GenerativeImage2Text) были применены ко входному набору данных. Была проведена оценка скорости обработки информации.
3. Для оценки эффективности предложенного решения использовались параметры, определённые

в ходе анализа, а именно: среднее время регистрации одного питомца, общее время внесения информации, время создания описания, качество описания. По результатам сравнения было установлено, что время процесса внесения входной информации сократилось в 8 раз с учётом использования предложенного решения.

4. Приюты для животных смогут эффективнее использовать имеющиеся ресурсы и внедрять новые технологические решения для гармоничного и устойчивого развития.

### Материалы и методы

На первом этапе исследования происходит сбор и обработка данных, которые будут поданы на вход системе, использующей инструмент автоматизации процесса внесения входных данных. Для сбора данных был проведён анализ сайтов приютов для животных, где были получены данные следующего вида: Изображение питомца; Кличка питомца; Возраст питомца; Вид питомца.

Помимо собранных данных в исследовании рассматривалось описание, которое формируется сотрудником приюта непосредственно во время добавления животного в систему.

В результате анализа было собрано 500 записей. Оценка результата работы производилась по следующим параметрам: время регистрации одного питомца — промежуток времени, необходимый для добавления новой записи в базу данных системы; общее время внесения информации — промежуток времени, необходимый для добавления всего массива данных в систему; время создания описания — промежуток времени, необходимый сотруднику для формирования и введения описания животного в систему; качество описания — оценка созданного описания при регистрации животного.

### Результаты и их обсуждение

На рисунке 1 представлена диаграмма бизнес-процесса по внесению данных о животных в систему «as is», построенная в нотации BPMN [7].

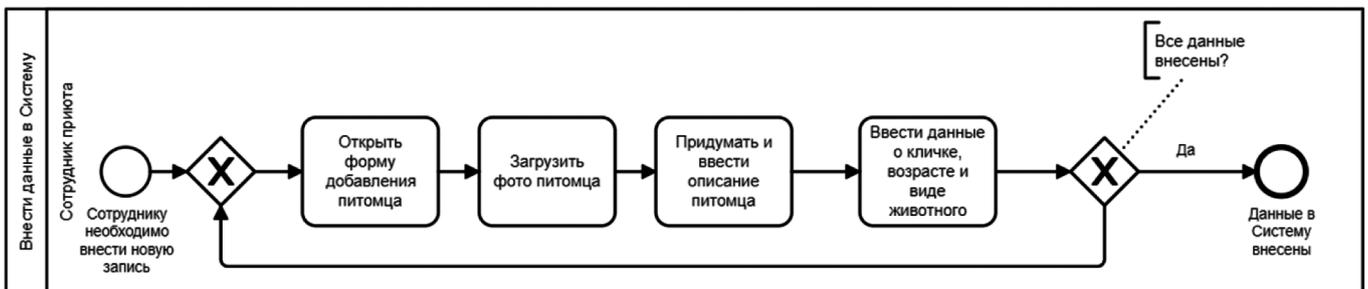


Рис. 1. Внесение данных о животных в систему «as is»

На представленном рисунке можно увидеть, каким образом протекает процесс внесения данных в систему в настоящее время. Сотруднику приюта необходимо выполнять ряд последовательных действий по внесению информации итерационно, где количество повторений процедуры равняется количеству входных записей.

В таблице 1 показаны параметры оценки эффективности применения интеллектуальной модели автоматизации процесса внесения входных данных для случая, когда все заявки вносятся сотрудником вручную без использования любых элементов автоматизации. Значения являются усреднёнными. Оценка качества производилась на основе таких критериев как: полнота, связность, соответствие представленному изображению, по трёхбалльной шкале, где 3 — полное соответствие всем заявленным критериям, а 0 — полное несоответствие.

Таблица 1.

Показатели эффективности для ручного добавления заявок

Параметр	Значение
Время регистрации одного питомца	67.01 секунд
Общее время внесения информации	33 505 секунд (558, 42 минуты)
Время создания описания	59.08 секунд
Качество описания	3

Источник: составлено автором.

Пример заполнения формы данными представлен на рисунке 2.

### Добавление животного

Имя:

Вид:

Описание:

Буруз активный, молодой и очень добрый парень. Однако же свой дом и семью, мы уверены, он будет защищать. Буруз обладает невероятно дружелюбным характером, обожает играть и легко поддается дрессировке. Буруз крупный и сильный парень.

Возраст:

Ссылка на фото:

Рис. 2. Заполнение формы данными

Результат заполнения формы данными представлен на рисунке 3.



### Буруз

**Вид:** Собака

**Описание:** Буруз активный, молодой и очень добрый парень. Однако же свой дом и семью, мы уверены, он будет защищать. Буруз обладает невероятно дружелюбным характером, обожает играть и легко поддается дрессировке. Буруз крупный и сильный парень.

**Возраст:** 10

Рис. 3. Результат заполнения формы данными

Для определения вида животного был использован классификатор, для реализации которого была использована архитектура свёрточной нейронной сети InceptionV3 [8]. После настройки и обучения модели, она была сохранена и развёрнута в backend среде в виде микросервиса, реализованного при помощи фреймворка FastAPI [9]. Обращение к данному микросервису осуществляется по API с использованием принципов архитектуры REST [10].

Аналогичный подход будет применяться для модели генерации текстового описания изображения. Для реализации модели генерации текстовых описаний была использована библиотека Hugging Face Transformers [11]. В качестве базовой модели выбрана архитектура GIT (GenerativeImage2Text). После настройки, обучения и сохранения модели она была развёрнута в backend среде в виде микросервиса с возможностью обращения по API.

Готовые сервисы были внедрены в информационную систему учёта питомцев. Для этого была реализована функция загрузки и чтения архива с фотографиями, после чего реализован контроллер, который передаёт прочитанные фото в реализованные сервисы классификации и генерации изображений, агрегирует информацию и создаёт профили питомцев для животных, добавляя полученные записи в базу данных и сохраняя изображения питомцев в файловом хранилище.

В таблице 2 приведены полученные результаты после внедрения системы автоматизации процесса внесения новых данных в систему.

Таблица 2.

Параметры эффективности для автоматизированного внесения данных

Параметр	Значение
Время регистрации одного питомца	8.03 секунд
Общее время внесения информации	4015 секунд (66,92 минуты)
Время создания описания	7.24 секунд
Качество описания	3

Источник: составлено автором.

На вход системе подавался архив данных, содержащий фото животных, данные о возрасте и кличке.

Для генерации описания использовались данные о кличке и возрасте, который подставлялись в текстовый запрос вида: «Опиши питомца по имени {Имя питомца}, которому {возраст питомца} лет, обращая внимание на детали его внешности, а также описывая особенности характера, которые должны быть представлены в положительной коннотации. Описание должно быть кратким и уместиться в один абзац».

Результат внесения данных в систему представлен на рисунке 4.

На рисунке 5 представлена диаграмма бизнес-процесса по внесению данных о животных в систему «to be», построенная в нотации BPMN.

На представленном рисунке можно заметить, как значительно сократилось количество необходимых действий для сотрудника приюта при внесении данных в систему.

Проводимое исследование основано на данных, собранных в результате анализа предметной области. Результаты подсчёта таких параметров, как время регистрации одного питомца, общее время внесения данных и время создания описания позволяют заключить, что использование описываемого решения позволяет значительно ускорить процесс внесения данных в систему.

Результатом данного исследования также стала демонстрация изменения бизнес-процесса внесения информации в систему. Значительное сокращение действий, требуемых от сотрудника, позволяет освободить временные ресурсы и использовать их более эффективно.

Помимо прочего была получена оценка качества описания, генерируемого нейросетями, по результатам исследования можно заключить, что качество описания остаётся высоким и учитывает детали внешности животных, формируя описание в связный текст. Однако, некоторые детали, такие как срок проживания в приюте, черты характера и жизненная история питомцев не могут быть сгенерированы по причине их уникальности. Тем не менее, используемая лексика, позволяет представить животных в положительной коннотации и апеллирует к чувствам клиентов [12].

Инструмент автоматизации процесса внесения входных данных может быть адаптирован для использования в любой информационной системе, благодаря использованию модульного подхода и имплементации распределённой архитектуры построения системы.

## Выводы

Тема автоматизации бизнес-процессов является крайне важной для некоммерческих организаций, так как в условиях внешних ограничений, позволяет использовать ресурсы эффективнее.

В этом исследовании предложено решение к применению моделей машинного обучения для автоматизации процесса внесения данных в информационную систему учёта питомцев в контексте приюта для животных. Целью данного исследования было определение способов внедрения инструментов автоматизации бизнес-процессов с использованием технологий искусственного интеллекта на примере приюта для животных с оценкой влияния предложенного решения на рассматриваемые бизнес-процессы.

Были использованы две архитектуры нейронных сетей, а именно: свёрточная нейронная сеть InceptionV3 и GIT (GenerativeImage2Text). Была проведена оценка скорости обработки информации.

Для оценки эффективности предложенного решения были использованы параметры, определённые в ходе анализа, а именно: среднее время регистрации одного питомца, общее время внесения информации, время создания описания, качество описания. По результатам сравнения было установлено, что время процесса внесения входной информации сократилось в 8 раз с учётом использования предложенного решения.

		
<p><b>Буруз</b></p> <p><b>Вид:</b> Собака</p> <p><b>Описание:</b> Буруз, десятилетний пес, очаровывает своей густой черной шерстью с яркими коричневыми отметинами на морде, груди и лапах. Его большие добрые глаза и слегка наклоненные вперед уши придают ему дружелюбный вид, а пушистый закрученный хвост добавляет игривости. Буруз отличается добродушным и энергичным характером, всегда готов к новым приключениям и обожает проводить время с семьей. Он умен и обучаем, легко запоминает команды, прекрасно ладит с детьми и другими животными. Его преданность и любовь к хозяевам делают его идеальным компаньоном и верным другом.</p> <p><b>Возраст:</b> 10</p>	<p><b>Гром</b></p> <p><b>Вид:</b> Собака</p> <p><b>Описание:</b> Гром, десятилетний пес, выделяется своей густой светло-рыжей шерстью и добрыми карими глазами. Его широкая морда и большие уши придают ему обаятельный и дружелюбный вид. Гром обладает спокойным и уравновешенным характером, излучая уверенность и преданность. Он прекрасно ладит с детьми и другими животными, демонстрируя терпимость и заботу. Несмотря на свой возраст, Гром полон энергии и с радостью сопровождает своих хозяев на прогулках. Его ум и обучаемость делают его надежным и верным другом, который всегда готов поддержать и порадовать свою семью.</p> <p><b>Возраст:</b> 10</p>	<p><b>Тарзан</b></p> <p><b>Вид:</b> Собака</p> <p><b>Описание:</b> Тарзан, пятилетний пес, впечатляет своей роскошной густой шерстью золотисто-черного окраса и выразительными темными глазами. Его пушистая грива и добродушная морда создают облик настоящего льва. Тарзан отличается дружелюбным и энергичным характером, всегда готов к играм и приключениям. Он умен и легко обучаем, что делает его отличным компаньоном для активных семей. Тарзан прекрасно ладит с детьми и другими животными, проявляя заботу и терпение. Его преданность и радость от общения с хозяевами делают его любимцем и верным другом для всех членов семьи.</p> <p><b>Возраст:</b> 5</p>

Рис. 4. Результат автоматизированного внесения данных в систему

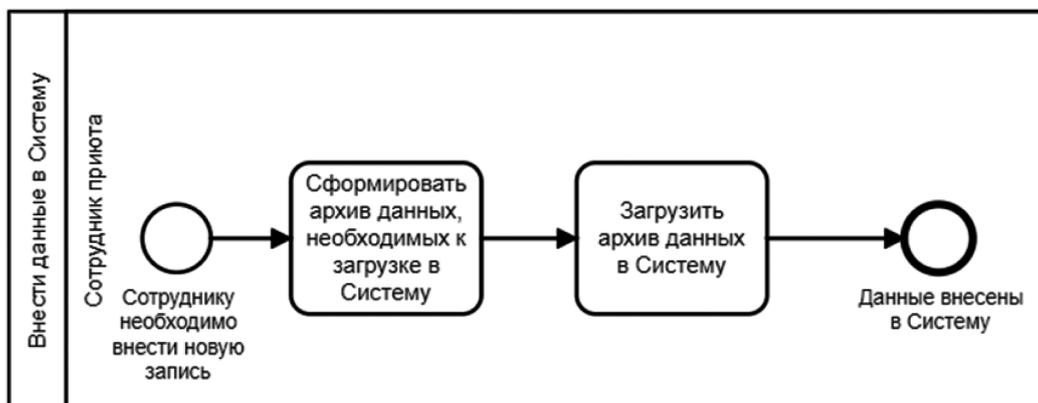


Рис. 5. Внесение данных о животных в систему «to be»

Исследование вносит вклад в область автоматизации бизнес-процессов инструментами с использованием ис-

кусственного интеллекта, что может стать темой для будущих исследований и разработок в данной области

---

ЛИТЕРАТУРА

1. Golenkov V., Shunkevich D., Davydenko I., Grakova N. Principles of organization and automation of the semantic computer systems development // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. — 2019. — №3. — С. 53–90.
2. Китиева М.И., Мусаева Х.М. Перспективы использования искусственного интеллекта в экономике // Естественно-гуманитарные исследования. — 2023. — №4. — С. 152–154.
3. Курилович П.А., Котилевец И.Д., Иванова И.А. О некоторых особенностях использования искусственного интеллекта в электронных системах автоматизации бизнес-процессов // Сборник научных тезисов и статей по материалам межфакультетских круглых столов. Том 3. — Волгоград: ИП Черняева Юлия Игоревна (Издательский дом «Сириус»), 2022. — С. 40–44.
4. Закон Российской Федерации «Федеральный закон «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 27.12.2018 № 498-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. — Ст. 3 с изм. и допол. в ред. от 27.11.2023.
5. Софьенкова А.Р. Приют для бездомных животных // Материалы VII Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию филиала КузГТУ в г. Междуреченске. 2018. — Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. — С. 330–333.
6. Как выживают российские приюты для животных сегодня // НОЖ URL: <https://knife.media/homeless-cats> (дата обращения: 14.05.2024).
7. Зуева А.Н. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN 2.0: Учебное пособие. — Москва: РТУ МИРЭА, 2021. — 105 с.
8. InceptionV3 Architecture // kaggle URL: <https://www.kaggle.com/code/satyaprakash13820/inceptionv3-architecture> (дата обращения: 14.05.2024).
9. Documentation FastApi // FastApi URL: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата обращения: 14.05.2024).
10. Лоре Арно Проектирование веб-API. — 1 изд. — ДМК-Пресс, 2020. — 440 с.
11. Transformers // Hugging Face URL: <https://huggingface.co/docs/transformers/index> (дата обращения: 14.05.2024).
12. Исаева А.А. СОЦИАЛЬНАЯ РЕКЛАМА ПРИУТОВ ДЛЯ ЖИВОТНЫХ // Вестник науки. — 2023. — №7. — С. 8–13.

---

© Узоров Кирилл Александрович (uzorov.kirill@mail.ru); Михиенков Кирилл Станиславович (mikhienkov@inbox.ru);  
Абанин Тимофей Дмитриевич (bookgun@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И РЕСУРСОВ ОБНАРУЖЕНИЯ ТЕКСТОВЫХ БЛОКОВ ИНФОРМАЦИИ, СГЕНЕРИРОВАННЫХ ИСКУССТВЕННЫМ ИНТЕЛЛЕКТОМ: НОВЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

## RESEARCH OF METHODS AND RESOURCES FOR DETECTING TEXT BLOCKS OF INFORMATION GENERATED BY ARTIFICIAL INTELLIGENCE: NEW APPROACHES AND PERSPECTIVES

Ya. Ukuahamba

*Summary.* In the modern information society, where the data flow is becoming more extensive and complex, the issue of detecting information recreated by generative systems is becoming relevant and significant. ChatGPT is based on machine learning, which is currently the most popular method in artificial intelligence (AI) technology. One of the key aspects is human interaction with generative systems that create, modify or adapt information. These systems include machine learning and an inexhaustible amount of knowledge and information, on the basis of which the user of the system is given the opportunity to create and modify information with a high degree of realism. The average person, for example, is increasingly becoming a victim of fake information generated by neural network models. The article discusses the resources for detecting text blocks of information created by humans during interaction and correction by a generative system.

*Keywords:* artificial intelligence, ChatGPT, OpenAI, information, language model, plagiarism.

Укухамба Ядмилде Авелину  
аспирант, Институт инженерных  
и цифровых технологий, г. Белгород  
1027419@bsu.edu.ru

*Аннотация.* В современном информационном обществе, где поток данных становится все более обширным и сложным, вопрос об обнаружении информации воссозданной генеративными системами становится актуальным и значимым. ChatGPT основан на машинном обучении, которое в настоящее время является самым популярным методом в технологии искусственного интеллекта (ИИ). Одним из ключевых аспектов является взаимодействие человека с генеративными системами, которые создают, изменяют или адаптируют информацию. Данные системы включают в себя машинное обучение и неисчерпаемый объем знаний и информации, на основе которого пользователю системы предоставляется возможность создания и модификации сведений с высокой степенью реализма. Среднестатистический человек, к примеру, всё чаще становится жертвой поддельной информации, сгенерированной моделями нейронных сетей. В статье рассмотрены ресурсы обнаружения текстовых блоков информации, созданных человеком при взаимодействии и коррекции генеративной системой.

*Ключевые слова:* искусственный интеллект, ChatGPT, OpenAI, информация, языковая модель, плагиат.

Развитие технологий искусственного интеллекта и его влияние на многие сферы жизни человека в последние годы стало темой, вызывающей растущую озабоченность. Системы искусственного интеллекта нового поколения, такие как чат-боты, стали более доступными в Интернете и более мощными с точки зрения возможностей.

В контексте информационных технологий, передовые модели искусственного интеллекта, такие как ChatGPT, GPT-3.5, BERT, RoBERTa и XLNet, являются значительным прорывом. Эти модели, разработанные гигантами технологической индустрии, такими как OpenAI, Google и Microsoft, предоставляют целый ряд преимуществ, включая улучшенное пользовательское взаимодействие, сотрудничество и доступность.

Модель ChatGPT и ее представители 3-го поколения предобученных генеративных моделей, выпущенных

компанией OpenAI, являются одной из наиболее сильных генеративных моделей, существующих в настоящее время. Большие языковые модели (LLM) — это передовые системы искусственного интеллекта (ИИ), предназначенные для обработки, понимания и создания текста, подобного человеческому. Примерами таких языковых моделей являются BERT, RoBERTa и другие. Они основаны на методах глубокого обучения и обучены на массивных наборах данных, обычно содержащих миллиарды слов из различных источников, таких как веб-сайты, книги и статьи [Былевский, 2023; Давлетов, 2023; Зонова, 2023; Ивахненко, 2023].

ChatGPT — это тип нейронных языковых моделей, впервые представленных компанией OpenAI, которые обучаются на больших наборах текстовых данных, чтобы генерировать текст, схожий с человеческим. Предобучение относится к начальному процессу обучения

на корпусе, в результате которого модель учится предсказывать следующее слово в тексте и получает основу для успешного выполнения дальнейших задач, не имея больших объёмов данных. GPT являются «трансформерами», которые представляют собой тип нейросетей, использующих механизм самосвязываемости для обработки последовательных данных. Они могут быть дообучены для различных задач обработки естественного языка, таких как генерация текста, машинный перевод и классификация текста [Ладыжец, 2023].

Как отмечает автор и критикует ChatGPT: «он лишен разумного человеколюбия, не мыслит и вообще неразумно (исходя из философского определение интеллекта)» [Hanna, 2023].

**Обор современных генеративных моделей**

ChatGPT — чат-бот с генеративным искусственным интеллектом, разработанный компанией OpenAI и способный работать в диалоговом режиме, поддерживающий запросы на естественных языках. Система способна отвечать на вопросы, генерировать тексты на разных языках, включая русский, относящиеся к различным предметным областям. Важной особенностью является возможность генерации по запросу программ на различных языках программирования [Лёвин, 2022; Малышев, Смирнов, 2024; Намиот, Зубарева, 2023].

К основным типам генеративных моделей, которые широко используются в современных генеративных алгоритмах, относятся: генеративно-состязательные сети (GAN), вариационные автоэнкодеры (VAE), и модели на основе трансформаторов. Трансформаторы — преобразователи, которые представляют собой усовершенствованный тип архитектуры нейронной сети, широко

используемый в исследованиях LLM. Ниже представлена схема основных генеративных моделей (рисунок 1).

Разработка инструментов обнаружения плагиата на основе искусственного интеллекта подтверждается фактическими данными. Действительно, с момента запуска ChatGPT список интернет-ресурсов для инструментов и сервисов обнаружения контента, созданных ИИ, растёт буквально еженедельно.

Текст можно быстро проанализировать и сравнить с помощью систем обнаружения плагиата на базе искусственного интеллекта, чтобы обнаружить случаи плагиата. Эти инструменты используют алгоритмы для обнаружения сходства между представленными работами и обширной базой данных источников, помогая более эффективно выявлять потенциальные случаи плагиата.

**Исследование оригинальности текстов, сгенерированных ИИ**

Существуют некоторые исследования и инструменты, которые занимаются вопросами оригинальности текстов, сгенерированных искусственным интеллектом. К таким можно отнести GPTZero — инструмент, который анализирует текст и определяет, написан ли он человеком или искусственным интеллектом, выделяя конкретные предложения, которые предположительно были созданы искусственным интеллектом [Оравек, 2023: 217]. Raidar — это метод, который позволяет определить, написан текст человеком или создан искусственным интеллектом, не имея доступа к внутреннему устройству модели [Alkaissi, McFarlane, 2023]. Raidar сравнивает оригинальный текст с переписанным и определяет количество изменений. Также сюда можно отнести Copyleaks — универсальный инструмент для проверки подлинности

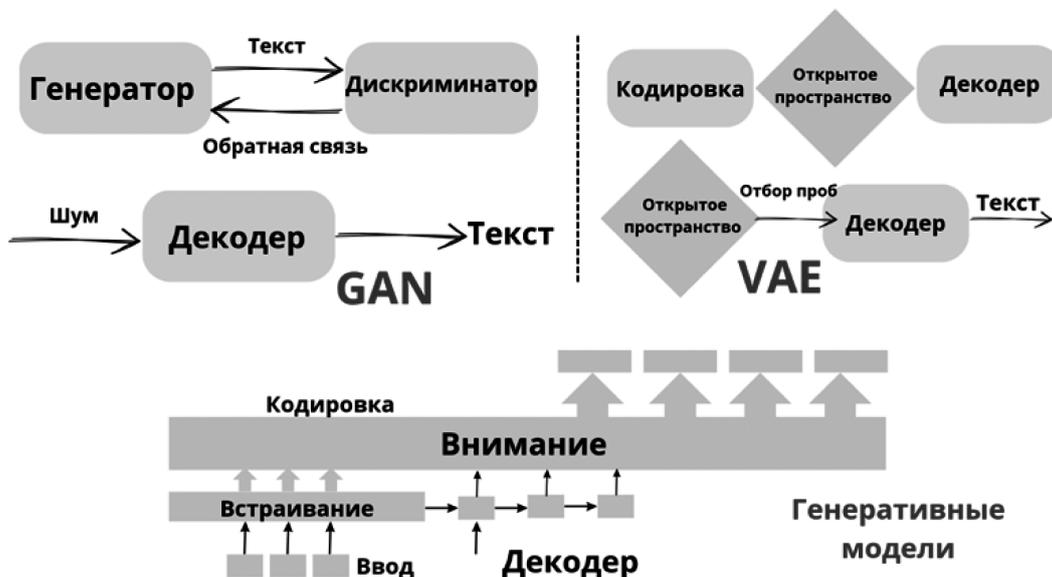


Рис. 1. Схема основных генеративных моделей

текста, сгенерированного искусственным интеллектом, и поддержания целостности контента [Kobis, 2021].

Несмотря на то, что эффективность различных инструментов и методов искусственного интеллекта может отличаться, особое внимание следует уделить тому, как они взаимодействуют с короткими текстами. Большинство исследований и инструментов обычно сосредоточены на обработке более длинных текстов, и их эффективность при работе с короткими текстами может быть не такой высокой.

В эпоху цифровой трансформации и развития искусственного интеллекта возникает вопрос о способности ИИ генерировать оригинальный контент. Особый интерес представляет то, как системы проверки на плагиат реагируют на короткие тексты, сгенерированные ИИ.

**Методика обнаружения коротких текстовых блоков информации**

Исследовательская гипотеза предполагает, что короткие тексты объемом до 100 слов, сгенерированные ИИ, не будут распознаны системами проверки на плагиат. Это может быть связано с тем, что ИИ способен создавать уникальные комбинации слов и фраз, которые отличаются от уже существующих текстов. Кроме того, короткие тексты могут не содержать достаточного количества информации для сопоставления с большими базами данных, предлагаемыми системами проверки.

Цель исследования заключалась в оценке вероятности верной классификации искусственно порожденного

текстового контента в контексте взаимодействия генеративных систем с человеком. Объектом выступают методы оценки систем выявления воссозданного контента. Предметом — текстовый контент.

$H_0$ : текст полностью принадлежит человеку.

$H_1$ : текст содержит сгенерированные блоки.

Матрица ошибок представляет собой эффективный инструмент для анализа эффективности методов обнаружения и классификации блоков текста, сгенерированных искусственно. В частности, «ложные положительные» результаты (ошибки первого рода) в матрице ошибок могут указывать на случаи, когда системы антиплагиата неверно классифицируют сгенерированные блоки текста как созданные человеком. Это подтверждает наблюдение о том, что системы антиплагиата не обнаруживают блоки текста, сгенерированные генеративной системой и состоящие из менее 100 слов.

Подобно тому, «ложные отрицательные» результаты (ошибки второго рода) могут свидетельствовать о ситуациях, когда текст, созданный человеком, неправильно классифицируется как сгенерированный. Это может быть связано с обнаружением стеганографии в текстах, созданных искусственным интеллектом.

Для сравнения прогнозов с реальностью используется матрица ошибок — таблица, содержащая четыре различные комбинации прогнозируемых и фактических значений. Прогнозируемые значения описываются как

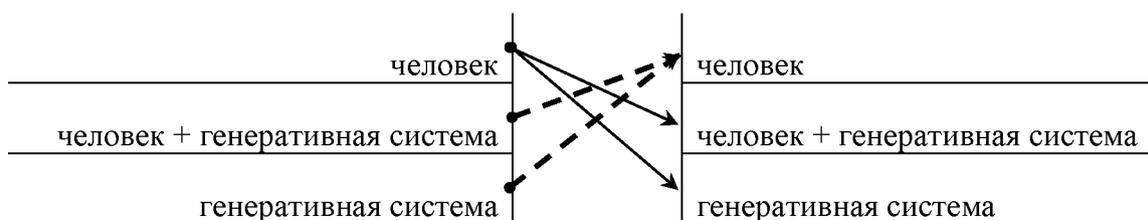


Таблица 1

Матрица ошибок

$H_0$ : текст полностью принадлежит человеку.		Результат анализа	
		Все написанные блоки принадлежат человеку (гипотеза принимается)	обнаружены сгенерированные блоки (гипотеза отвергается)
Автор	написано человеком (верна)	все элементы текста принадлежат человеку	Ошибочно классифицированные блоки ( $P_{\beta}$ , ошибка I-го рода)
	имеются сгенерированные блоки (не верно)	текст ошибочно принят за написанный человеком ( $P_{\alpha}$ , ошибка II-го рода)	в тексте встречаются сгенерированные блоки

положительные и отрицательные, а фактические значения описываются как истинные и ложные. Обычно матрица ошибок используется для оценки точности моделей в задачах классификации. Однако прогнозирование и распознавание образов можно считать частным случаем этой проблемы, поэтому матрица ошибок также важна для измерения точности прогнозирования.

Современные нейронные сети уже достаточно развиты для создания высококачественных текстов, которые сложно отличить от текстов, созданных человеком. Однако в большинстве своем люди способны понять, что сгенерированные тексты принадлежат нейронным сетям, благодаря примитивности создаваемых объектов, ошибкам и неточностям. Написание текстов по-прежнему остается сложной задачей для искусственного интеллекта, поскольку человеческий язык является более сложной областью для моделирования и он имеет более высокий уровень абстракции и контекстуальности.

### Заключение

Уникальный алгоритм системы проверки на плагиат, позволяющий автоматически выявлять и отмечать

машинно сгенерированные фрагменты текста, является эксклюзивной разработкой компании «Антиплагиат», созданной на основе многолетних исследований в области обработки естественного языка. Система проверки сканирует текст на предмет фрагментов, предположительно созданных с использованием моделей глубокого обучения GPT2, GPT-3, ChatGPT. Детектор машинного текста обучен и протестирован на большом наборе данных, что сводит к минимуму риск ложных срабатываний. Если в проверяемом документе обнаруживаются сгенерированные фрагменты, система антиплагиата выделяет их, а сам документ помечается как «Подозреваемый».

При проведенном исследовании, где анализировался короткий текст (до 100 слов), система проверки на плагиат не обнаружила текст, сгенерированный нейросетью. И как указывает разработчик, детектор текстов обучен и протестирован на большом наборе данных, но результаты исследования показали, что существует непосредственная связь между количеством слов в проверяемом тексте. В дальнейшем, чтобы повысить надежность результатов исследования, необходимо принимать более крупные выборки.



Рис. 2. Результаты проверки

## ЛИТЕРАТУРА

1. Былевский П.Г. Культурологическая деконструкция социальнокультурных угроз ChatGPT информационной безопасности российских граждан // Философия и культура. 2023. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kulturologicheskaya-dekonstruktsiya-sotsialnokulturnyh-ugroz-chatgpt-informatsionnoy-bezopasnosti-rossijskih-grazhdan>
2. Давлетов А.Р. Главные трудности при интеграции машинного обучения в коммерческую эксплуатацию // Инновации и инвестиции. 2023. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/glavnye-trudnosti-pri-integratsii-mashinnogo-obucheniya-v-kommercheskuuyu-ekspluatatsiyu>
3. Зашихина И.М. Подготовка научной статьи: справится ли ChatGPT? // Высшее образование в России. 2023. №8-9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podgotovka-nauchnoy-stati-spravitsya-li-chatgpt>
4. Зонова Д.Ю. ПРИНЦИП РАБОТЫ И ПРОБЛЕМЫ «GENERATIVE PRE-TRAINED TRANSFORMER ARTIFICIAL INTELLIGENCE» // Вестник науки и образования. 2023. №8 (139). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/printsip-raboty-i-problemy-generative-pre-trained-transformer-artificial-intelligence>
5. Ивахненко Е.Н., Никольский В.С. ChatGPT в высшем образовании и науке: угрозы или ценный ресурс? // Высшее образование в России. 2023. Т. 32. № 4. С. 9–22. DOI: 10.31992/0869-3617-2023-32-4-9-22
6. Ладыжец Н.С. СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ И ВОЗМОЖНОСТЯМИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ НЕЙРОСЕТЕЙ // Вестник Удмуртского университета. Социология. Политология. Международные отношения. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sotsialnye-aspekty-upravleniya-riskami-i-vozmozhnostyami-operezhayushchego-razvitiya-neyrosetey>
7. Лёвин Б.А., Пискунов А.А., Поляков В.Ю., Савин А.В. Искусственный интеллект в инженерном образовании // Высшее образование в России. 2022. Т. 31. № 7. С. 79–95. DOI: 10.31992/0869-3617-2022-31-7-79-95
8. Малышев И.О., Смирнов А.А. ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ГЕНЕРАТИВНЫХ НЕЙРОСЕТЕЙ: ОТЕЧЕСТВЕННАЯ И ЗАРУБЕЖНАЯ ПРАКТИКА // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2024. №1-2 (88). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-sovremennyh-generativnyh-neyrosetey-otechestvennaya-i-zarubezhnaya-praktika>
9. Намиот Д.Е., Зубарева Е.В. О работе AI Red Team // International Journal of Open Information Technologies. 2023. №10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-rabote-ai-red-team>
10. Оравек Дж.А. Последствия для академического мошенничества: расширение масштабов ответственного сотрудничества с людьми и ChatGPT // Журнал Interactive Учебные исследования. 2023. Выпуск 34. № 2. С. 213–237. URL: <https://philarchive.org/archive/>
11. Сазонов А.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ В ПРОГРАММИРОВАНИИ // Universum: технические науки. 2024. №3 (120). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-ii-v-programmirovanii>
12. Сулейманова Д.О., Магомаев Т.Р. РОЛЬ CHATGPT В НАУКЕ О ДАННЫХ // Общество, экономика, управление. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-chatgpt-v-nauke-o-dannyh-1>
13. Alkaissi H, McFarlane S.I. Artificial Hallucinations in ChatGPT: Implications in Scientific Writing // Cureus. 2023. Vol. 15. № 2: e35179. DOI: 10.7759/cureus.35179
14. Nils Kobis, Luca D. Mossink Artificial intelligence versus Maya Angelou: Experimental evidence that people cannot differentiate AI-generated from human-written poetry, Computers in Human Behavior, Volume 114, 2021, 106553, ISSN 0747-5632 — <https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106553>.
15. Hanna R. How and why ChatGPT failed The Turing Test. Against Professional Philosophy Website. Retrieved February 05, 2023 from: <https://againstprofphil.org/2023/01/15/how-and-why-chatgpt-failed-the-turing-test/>

# СОЧЕТАННОЕ ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ФИБРИЛЛЯЦИИ ПРДСЕРДИЙ У ПАЦИЕНТОВ, ПОДВЕРГАЮЩИХСЯ КАРДИОХИРУРГИЧЕСКИМ ОПЕРАЦИЯМ

## COMBINED SURGICAL TREATMENT OF ATRIAL FIBRILLATION IN PATIENTS UNDERGOING CARDIAC SURGERY

**D. Bystrov  
R. Komarov  
A. Shonbin  
B. Afonin  
D. Matsuganov**

*Summary.* Atrial fibrillation (AF) is the most common arrhythmia observed with concomitant cardiac surgery. The article discusses the clinical significance of the problem of concomitant atrial fibrillation. In patients with AF indicated for cardiac surgery, a concomitant Cox-Maze procedure resulted in superior AF- and event-free survival, without increased risk of mortality. These findings may assist decision making for surgical management of AF concomitant with other cardiac surgery procedure.

*Keywords:* atrial fibrillation, Maze procedure.

**Ф**ибрилляция предсердий (ФП) является одной из наиболее частых форм нарушения ритма сердца. Более чем 33,5 миллиона людей на всей земле страдают ФП, при этом доля пациентов с ФП и клапанной патологией сердца и/или коронарным поражением, требующим хирургического лечения достаточно велика, и с каждым годом растет. К тому же, сочетание кардиальной патологии увеличивает риск осложнений и летальности.

**Быстров Дмитрий Олегович**  
канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург,  
Государственное бюджетное учреждение  
здравоохранения Архангельской области «Первая  
городская клиническая больница им. Е.Е. Волосевич»  
dr.bystrov@gmail.com

**Комаров Роман Николаевич**  
д.м.н., профессор, директор клинического центра,  
сердечно-сосудистый хирург, ФГАОУ ВО Первый МГМУ  
имени И.М. Сеченова Минздрава России

**Шонбин Алексей Николаевич**  
канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург,  
заведующий отделением, Государственное бюджетное  
учреждение здравоохранения Архангельской области  
«Первая городская клиническая больница  
им. Е.Е. Волосевич»  
anshonbin@gmail.com

**Афонин Борис Олегович**  
сердечно-сосудистый хирург, Государственное  
бюджетное учреждение здравоохранения Архангельской  
области «Первая городская клиническая больница  
им. Е.Е. Волосевич»  
l@sheomf.ru

**Мацуганов Денис Алексеевич**  
канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, ФГАОУ ВО  
Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России  
denmაცuganov@yandex.ru

*Аннотация.* Фибрилляция предсердий (ФП) является одной из наиболее частых форм нарушения ритма сердца. Сочетание ФП и другой кардиальной патологии увеличивают риск осложнений и летальности. На данный момент нет единого, четко сложившегося, мнения по поводу сопутствующего хирургического лечения ФП у пациентов, подвергающимся кардиохирургическим операциям.

В статье представлен литературный обзор современных подходов к лечению данной сочетанной патологии. Большинство исследований показало эффективность сочетанного хирургического лечения ФП, при этом не отмечается увеличения количества осложнений и летальности.

*Ключевые слова:* фибрилляция предсердий, операция Лабиринт.

На данный момент нет единого, четко сложившегося, мнения по поводу сопутствующего хирургического лечения ФП у пациентов, подвергающимся кардиохирургическим операциям. В ряде случаев это продиктовано тем, что не существует четких алгоритмов, обзорающих эту проблему, в других, тем, что во многих центрах, особенно в РФ нет должного опыта в хирургической аритмологии. Все это указывает на актуальность данной

проблемы и необходимость ее тщательного разбора. Коллективом авторов был выполнен анализ публикация за последние 7 лет, краткая характеристика исследований представлена в таблице 1.

В отчете Medicare за 2011–2014 годы были проанализированы истории пациентов, которым были выполнены кардиохирургические операции. Выяснилось, что 61,8 % пациентов, у которых выполнено вмешательство на митральном клапане, имели ФП до операции, 33,4 % — операцию на аортальном клапане и 20,1 % пациентов, которым выполнено аортокоронарное шунтирование так же имели в анамнезе ФП. Что интересно, была замечена крайне низкая частота применения сопутствующей процедуры аблации у этих больных. Так при выполнении операции реваскуляризации миокарда, только у 30,5 % пациентов выполнялась хирургическая аблация [18].

Базы данных STS Adult Cardiac Surgery Database показывают, что ФП встречается у 40,3 % пациентов, которым требовалось вмешательство на митральном клапане, у 11,3 % — на аортальном клапане и у 5,1 % — аортокоронарное шунтирование [1]. Badhwar установил, что только у 48,3% пациентов, из вышеуказанных групп, выполнялась комбинированная операция. Данное исследование показало, что аблация была выполнена в 68,4 % случаях при операциях на митральном клапане в комбинации с аортокоронарным шунтированием, в 59,1 % — при сочетанных вмешательствах на аортальном и митральном клапанах, в 39,3 % — при операциях на аортальном клапане в комбинации с аортокоронарным шунтированием, в 33,0 % — при изолированном аортокоронарном шунтировании [3].

Потенциальными причинами отказа кардиохирургов от комбинированной операции являются сложность выполнения операции «Лабиринт», разночтения в результатах подобных операций, более высокая частота имплантации постоянного кардиостимулятора после хирургических процедур аблации.

Впервые об улучшении 5-летней выживаемости пациентов, перенесших комбинированную процедуру, сообщил Lee в 2012 году [17]. Выживаемость пациентов с дооперационной ФП и перенесших комбинированную операцию была сопоставима с пациентами, никогда не имевших ФП до операции. В дальнейшем другие исследователи сообщили о подобных долгосрочных результатах. Musharbash указал, что у пациентов с проведенной операцией «Лабиринт IV», в дополнение к основной, лучше отдаленная выживаемость по сравнению с пациентами, у которых была до операции ФП, но процедура аблации не проводилась [19]. В 2019 году Iribarne в многоцентровом исследовании выявил, что у пациентов, перенесших аортокоронарное шунтирование или операцию на аортальном клапане в комбинации с хи-

рургической аблаций, значительно лучше отдаленная выживаемость [14].

Исследования Lee и Musharbash показали, что комбинированные операции — аортокоронарное шунтирование или операции при клапанной патологии в сочетании с операцией «Лабиринт» значительно улучшают отдаленные результаты [17, 19]. В рандомизированных контролируемых исследованиях при сравнении популяций пациентов отмечено, что комбинированные операции с процедурой аблации являются безопасными, эффективными в восстановлении синусового ритма, при этом повышается качество жизни и выживаемость, по сравнению с операциями без аблации [1]. Обновленные в 2019 г. клинические рекомендации Американского колледжа кардиологов рекомендуют выполнять комбинированные операции (класс рекомендаций IIa, уровень доказательности C) [15]. В клинических рекомендациях The Heart Rhythm Society применение комбинированной операции «Лабиринт» так же получило одобрение [15].

В рекомендациях торакальных хирургов (STS, 2017 г.) рекомендовано выполнение комбинированной операции — хирургической аблации в сочетании с вмешательством на аортальном клапане или аортокоронарным шунтированием (класс рекомендаций I, уровень доказательности B), при этом риск вмешательства не увеличивается и не сопровождаются повышением послеоперационной летальности [4]. Анализ базы данных торакальных хирургов (STS), продемонстрировал, что процедура аблации с другими кардиохирургическими операциями, приводило к снижению риска 30-дневной летальности (HR 0,92 и 0,84) [1]. Эффективность сопутствующего хирургического лечения ФП у пациентов с вмешательством на аортальном клапане или аортокоронарном шунтировании аналогична с операциями на митральном клапане, при этом с хорошими отдаленными результатами — свобода от аритмии от 69 % до 89 % [13]. Badhwar в исследовании показал, что свобода от ФП при проведении подобных комбинированных операций наблюдалась только у 25–40 % пациентов с дооперационной ФП [3], но скорее всего, это можно объяснить тем, что часто выполнялась только изоляция легочных вен.

Аналогичные результаты были получены и в одноцентровых нерандомизированных обсервационных исследованиях. В исследованиях Lee, Henn, Ad представлено, что 68–83 % пациентов после проведения комбинированной операции не имели рецидивов ФП и не принимали антиаритмических препаратов за весь период наблюдения в течение 5 лет [17, 13, 1], частота свободы от инсульта составила 97,9 % через 5 лет и 92,4 % через 10 лет [1], указаний на прием антикоагулянтов не отмечено.

Характеристика анализируемых исследований

Авторы исследования, период наблюдения	Дизайн исследования	Результаты
S Chris Malaisrie и соавт. [18] Срок наблюдения — 5 лет	I группа (n = 10541) — АКШ + хирургическая абляция ЛП II группа (n = 23059) — изолированное АКШ	Инсульт \ системные эмболии в течение 30 дней (за 5 лет) I группа — 2,2 % (9,9 %) II группа — 2,1 % (12,0 %)
Richard Lee и соавт. [17] Срок наблюдения — 5 лет	I группа (n = 372) — пациенты с ФП в анамнезе, подвергшиеся вмешательству на сердце и хирургической абляции II группа (n = 372) — пациенты без ФП в анамнезе, подвергшиеся вмешательству на сердце	Смертность: за весь период исследования не наблюдалось значимой разницы между группами I, II.
Farah N Musharbash и соавт. [19] Срок наблюдения — 10 лет	I группа (n = 438) — пациенты с ФП в анамнезе, подвергшиеся вмешательству на сердце и хирургической абляции II группа (n = 1510) — пациенты с ФП в анамнезе, подвергшиеся вмешательству на сердце, которым не выполнена хирургическая абляция III группа (n = 372) — пациенты без ФП в анамнезе, подвергшиеся вмешательству на сердце	10-летняя выживаемость: I группа — 62 % II группа — 42 % III группа — 55 %
Alexander Iribarne и соавт. [14] Срок наблюдения — 5 лет	I группа (n = 634) — пациенты с ФП в анамнезе, подвергшиеся вмешательству на сердце и хирургической абляции II группа (n = 2106) — пациенты с ФП в анамнезе, подвергшиеся вмешательству на сердце, которым не выполнена хирургическая абляция	1, 3, 5-летняя выживаемость: I группа — 94 %, 87 %, 81 % II группа — 87 %, 79 %, 68 %
Matthew C Henn и соавт. [13] Срок наблюдения — 5 лет	Пациенты подвергшиеся сопутствующей хирургической абляции (576)	Свобода от ФП через 5 лет — 78 % Свобода от ФП и приема антиаритмиков через 5 лет — 66 %
A Marc Gillinov и соавт [11] Срок наблюдения — 1 год	260 пациентов с непароксизмальной формой ФП и пороком митрального клапана I группа (n = 133) — процедура хирургической абляции + коррекция порока митрального клапана II группа (n = 127) — изолированная коррекция порока митрального клапана	Свобода от ФП через 1 год I группа — 63 % II группа — 29 % Смертность за период наблюдения: I группа — 6,8 % II группа — 8,7 % Значимых различий в частоте возникновений основных неблагоприятных сердечно-сосудистых событий не наблюдалось. Частота постановки постоянного ЭКС: I группа — 21,5 % II группа — 8,1 %
J Scott Rankin [20] и соавт. Срок наблюдения — 2 года	I группа (n = 626) — процедура хирургической абляции + АКШ II группа (n = 3119) — изолированное АКШ	Смертность за период наблюдения: I группа — 14,5 % II группа — 20,0 %
Andrei Churyla [8] и соавт. Срок наблюдения — 2 года	I группа (n = 257) — процедура биатриальной хирургической абляции + коррекция порока митрального клапана II группа (n = 359) — хирургическая абляция ЛП + коррекция порока митрального клапана	Частота постановки постоянного ЭКС: I группа — 13 % II группа — 7 % Свобода от ФП: I группа — 72 % II группа — 75 % Значимых различий в частоте возникновений основных неблагоприятных сердечно-сосудистых событий смертности не наблюдалось.

Авторы исследования, период наблюдения	Дизайн исследования	Результаты
Anne S Kanderian [16] и соавт.	I группа (n = 52) — резекция ушка ЛП II группа (n = 85) — ушивание или клипирование ушка ЛП.	Успешное закрытие ушка ЛП: I группа: 73 % II группа: 23 %
Richard P Whitlock, соавт. [21] Срок наблюдения — 4 года	I группа (n = 2379) — основное вмешательство + хирургическое закрытие ушка ЛП II группа (n = 2391) — контрольная группа	Частота инсультов и системного эмболизма: I группа: 4,8 % II группа: 7,0 %
Бокерия Л.А и соавт. [28] Срок наблюдения — 3 года	I группа (n = 10) — пациенты с пароксизмальной ФП. Коррекция митрального порока + Лабиринт IIIБ II группа (n = 78) — пациенты с непароксизмальной ФП. Коррекция митрального порока + Лабиринт IIIБ	Свобода от ФП: I группа: 90,9 % II группа: 88,5 %
Богачев-Прокофьев А.В и соавт. [25] Срок наблюдения — 3 года	I группа (n = 56) — катетерная изоляция УЛВ + коррекция порока митрального клапана II группа (n = 56) — хирургическая абляция ЛП + коррекция порока митрального клапана	Свобода от ФП: I группа: 57,9±7,3 % II группа: 84,3±5,1 %
Богачев-Прокофьев А.В и соавт. [23] Срок наблюдения — 3 года	I группа (n = 60) — коррекция порока митрального клапана с хирургической абляцией ЛП без редукции ЛП II группа (n = 60) — коррекция порока митрального клапана с хирургической абляцией ЛП с редукционной пластикой ЛП	Свобода от ФП: I группа: 84,8 % II группа: 86,2 % Свобода от тромбоемболических событий: I группа: 88,6 % II группа: 96,5 %

В 2015 году Gillinov, опубликовал результаты многоцентрового исследования, которое показало, что комбинация операции на митральном клапане и операции «Лабиринт» у пациентов с длительно персистирующей аритмией, не увеличивает непосредственную смертность, но увеличивает свободу от ФП через 1 год по сравнению с пациентами, у которых «Лабиринт» не проводился (63,2 % против 29,4 %,  $p < 0.001$ ). Но авторы наблюдали повышенную частоту имплантации электрокардиостимулятора у тех пациентов, которым была успешно проведена абляция (21,5 % против 8,1 %) [11]. Результаты Gillinov были подтверждены исследованиями, основанными на базе данных общества торакальных хирургов (STS), показавшими, что комбинированная хирургическая абляция при ФП, не приводит к увеличению послеоперационной летальности, более того, она значительно снижает риск поздней смертности (91 — 729 дней) [20].

Потребность в имплантации постоянных электрокардиостимуляторов после хирургической абляции в настоящее время до конца не изучена. У пациентов с дооперационной непароксизмальной формой ФП потребность в имплантации ЭКС возрастает [9], по данным Churyla достигает 13 % [8]. Gillinov сообщил о потребности имплантации ЭКС у 21,5 % пациентов после проведения комбинированной операции [11], но эти исследования не установили причину имплантации. В 2018 году Сох определил причины имплантации ЭКС после операции «Лабиринт» как результат воздействия около синусового узла и временного подавления парасимпатического

влияния на атриовентрикулярный узел. Эти изменения являются временными и в дальнейшем регрессируют [9].

Barnett в проведенном метаанализе показал, что только при биатриальной абляции можно достигнуть хороших отдаленных результатов [5]. В 2018 г. Churyla, при сравнении пациентов с дооперационной ФП и выполненном вмешательстве на митральном клапане и биатриальной абляцией и пациентами с процедурой на митральном клапане и абляцией только левого предсердия, обнаружил отсутствие различий в количестве послеоперационных осложнений и летальности [8]. Guo в 2021 г. опубликовал метаанализ, который включал 19 контролируемых рандомизированных исследований, сравнивающих эффективность процедур — изоляции устьев легочных вен, изоляции левого предсердия, биатриальной абляции и отсутствие абляции при проведении кардиохирургической операции. Выявлено, что биатриальная абляция не имеет преимуществ перед остальными стратегиями восстановления синусового ритма, но летальность выше в данной группе пациентов по сравнению с группой, где не производилась абляция [12].

Закрытие ушка левого предсердия является одним из важных компонентов операции «Лабиринт III–IV». Большинство авторов считают, что 90 % тромбоемболических инсультов, возникающих при ФП связаны с ушком левого предсердия. Недавние исследования показали, что в дополнение к закрытию ушка левого предсердия, также важно его электрически изолировать

[7]. Kanderian установил, что резекция ушка более эффективна по сравнению с ушиванием [16], однако Cullen, опроверг общепринятое мнение о том, что простая резекция ушка левого предсердия безвредна и предпочтительнее всех других методов закрытия — у 20 % пациентов появился тромб в месте ушивания [10]. Перспективным методом является закрытие с помощью эпикардального устройства AtriClip (Atricure, Inc.), который представляет собой зажим, изготовленный из двух параллельных жестких титановых трубок с нитиноловыми пружинами, покрытыми плетеной оболочкой. Ailawadi показал эффективность этого устройства в 97 % случаях.

В 2021 году были опубликованы результаты многоцентрового рандомизированного исследования LAAOS III, в котором оценивалась частота встречаемости ишемического инсульта или системного эмболизма в период до 30, после 30 дней и за период 3.8 года у пациентов после кардиохирургической операции. Пациенты были разделены на 2 группы. В 1 группе дополнительно к основной операции выполняли хирургическое закрытие ушка ЛП. 2 группа являлась контрольной. Исследование показало, что в 1 группе частота ишемических инсультов, системных эмболий оказалась статистически значимо ниже во всех контрольных точках, в отличие от пациентов 2 группы. Частота рестернотомий в первые 2 суток после операции у обеих групп была идентична [21].

В отечественной литературе представлено небольшое количество публикаций, посвященных комбинированным операциям по поводу основного заболевания и ФП. В основном это данные одноцентровых исследований.

Бокерия Л.А. в 2016 г. провел оценку эффективности выполнения операции Крио-Лабиринт в зависимости от формы ФП у пациентов с поражением митрального клапана. При наблюдении в течение 31 месяца у 90,9 % пациентов с дооперационной пароксизмальной формой ФП и у 88,5 % с дооперационной персистирующей формой ФП сохранялся синусовый ритм, а 84 % пациентов не получали антиаритмическую терапию [28].

Богачев-Прокофьев А.В. в 2016 г. представил результаты левопредсердной модифицированной операции «Лабиринт» в сравнении с изоляцией легочных вен после хирургии пароксизмальной ФП и одномоментной коррекции пороков митрального клапана. Установлено, что через 36 месяцев 84,3 % пациентов, которым была выполнена левопредсердная модификация операции «Лабиринт», сохраняли синусовый ритм, а в группе изоляции легочных вен свобода от ФП составляла 57,9 % [25]. Тот же автор провел оценку эффективности и безопасности выполнения конкомитантной процедуры Maze IV в дополнение к расширенной миоэктомии у пациентов с обструктивной гипертрофической кардиоми-

опатией. Летальных исходов в раннем послеоперационном периоде не было. У 93,5 % пациентов через 12 мес. наблюдалась свобода от ФП [24]. Еще в одном проспективном рандомизированном исследовании данного автора выполнена оценка безопасности и эффективности комбинированного подхода — аблации левого предсердия в сочетании с редуцированной атриопластикой и без атриопластики у пациентов с митральными пороками сердца. Выполнение этих операций не сопровождалось увеличением количества осложнений и летальности. Свобода от ФП через 36 мес. составила 84,8 и 86,2 %, соответственно [23].

Арутюнян В.Б. в 2017 г. выполнил анализ результатов операций у 100 пациентов, которым была выполнена операция «Лабиринт» и вмешательство на митральном клапане, из них у 31 % пациентов дополнительно произведено аортокоронарное шунтирование. Послеоперационная летальность составила 4 %, имплантация ЭКС потребовалась у 12 % пациентов. Через 10 мес. синусовый ритм сохранялся у 83,5 % [22]. Емешкин М.И. в 2018 г. провел сравнительный анализ эффективности биатриальной и левопредсердной хирургической аблации у пациентов с ФП при выполнении комбинированных операций. При сравнении групп пациентов статистической значимой разницы по количеству осложнений и летальности не отмечено, потребность в электрокардиостимуляторе была выше в группе с биатриальной аблацией. Свобода от ФП через 96 мес. была выше в группе биатриальной аблации [29]. Ревилшвилли А.Ш. в 2019 проанализировал влияние операции «Лабиринт» на результаты протезирования митрального клапана в госпитальном периоде. В исследование вошли 138 человек с пароксизмальной и персистирующими формами ФП. Госпитальная летальность составила 1,0 %, потребность в имплантации ЭКС 7,9 %. При выписке у 80,3 % пациентов был синусовый ритм. Установлено, что факторами, влияющими на прогноз восстановления синусового ритма на момент выписки, являются: исходная форма ФП, а также размеры предсердий до операции [30].

Богачев-Прокофьев А.В. в 2017 опубликовал результаты проспективного пилотного рандомизированного исследования, в котором проводилось сравнение 2 групп больных с дооперационным синусовым ритмом: в 1 группе профилактически выполнялась аблация предсердий у пациентов с пороками митрального клапана и атриомегалией, 2 — контрольная группа. Частота развития ФП через 12 мес. была статистически выше в контрольной группе [26].

Таким образом, лечение ФП у больных с ишемической болезнью сердца или клапанными пороками сердца остается актуальной проблемой. Сохранение ФП после операции существенно снижает эффективность операции, что обусловлено сохранением и прогресси-

рованием сердечной недостаточности, а также увеличивает риск тромбоэмболических осложнений. Так же, несмотря на небольшое количество пациентов с ИБС и сочетанной ФП, проблема тахикардии актуальна, так как ишемизированный миокард вследствие скомпрометированного коронарного кровотока наиболее уязвим

в условиях тахикардии. Приведенные в нашем обзоре исследования показывают, что комбинированная хирургическая абляция при ФП, не приводит к увеличению послеоперационной летальности, более того, она значительно снижает риск поздней смертности

## ЛИТЕРАТУРА

- Ad N, Holmes SD, Massimiano PS, Rongione AJ, Fornaresio LM. Long-term outcome following concomitant mitral valve surgery and Cox maze procedure for atrial fibrillation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;155(3):983–994.
- Ailawadi G, Gerdisch MW, Harvey RL, et al. Exclusion of the left atrial appendage with a novel device: early results of a multicenter trial. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2011;142(5):1002–1009, 1009 e1001.
- Badhwar V, Rankin JS, Ad N, et al. Surgical Ablation of Atrial Fibrillation in the United States: Trends and Propensity Matched Outcomes. *Ann Thorac Surg.* 2017;104(2):493–500.
- Badhwar V, Rankin JS, Damiano RJ, Jr., et al. The Society of Thoracic Surgeons 2017 Clinical Practice Guidelines for the Surgical Treatment of Atrial Fibrillation. *Ann Thorac Surg.* 2017;103(1):329–341.
- Barnett SD, Ad N. Surgical ablation as treatment for the elimination of atrial fibrillation: a meta-analysis. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2006;131(5):1029–1035.
- Calkins H, Hindricks G, Cappato R, et al. 2017 HRS/EHRA/ECAS/APHS/SOLAECE expert consensus statement on catheter and surgical ablation of atrial fibrillation: Executive summary. *J Arrhythm.* 2017;33(5):369–409.
- Churyla A, Desai A, Kruse J, Cox J, McCarthy P. Concomitant atrial fibrillation ablation in patients undergoing coronary artery bypass and cardiac valve surgery. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2020; 1–7.
- Churyla A, Idriss A, Andrei AC, et al. Biatrial or Left Atrial Lesion Set for Ablation During Mitral Surgery: Risks and Benefits. *Ann Thorac Surg.* 2017;103(6):1858–1865.
- Cox JL, Ad N, Churyla A, et al. The Maze Procedure and Postoperative Pacemakers. *Ann Thorac Surg.* 2018;106(5):1561–1569.
- Cullen MW, Stulak JM, Li Z, et al. Left Atrial Appendage Patency at Cardioversion After Surgical Left Atrial Appendage Intervention. *Ann Thorac Surg.* 2016;101(2):675–681.
- Gillinov AM, Gelijs AC, Parides MK, et al. Surgical ablation of atrial fibrillation during mitral-valve surgery. *N Engl J Med.* 2015;372(15):1399–1409.
- Guo Q, Yan F, Ouyang P, et al. Bi-atrial or left atrial ablation of atrial fibrillation during concomitant cardiac surgery: A Bayesian network meta-analysis of randomized controlled trials. *J Cardiovasc Electrophysiol.* 2021;32:2316–2328. <https://doi.org/10.1111/jce.15127>
- Henn MC, Lancaster TS, Miller JR, et al. Late outcomes after the Cox maze IV procedure for atrial fibrillation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2015;150(5):1168–1176, 1178 e1161–1162.
- Iribarne A, DiScipio AW, McCullough JN, et al. Surgical Atrial Fibrillation Ablation Improves Long-Term Survival: A Multicenter Analysis. *Ann Thorac Surg.* 2019;107(1):135–142.
- January CT, Wann LS, Calkins H, et al. 2019 AHA/ACC/HRS Focused Update of the 2014 AHA/ACC/HRS Guideline for the Management of Patients With Atrial Fibrillation: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines and the Heart Rhythm Society. *J Am Coll Cardiol.* 2019;74(1):104–132.
- Kanderian AS, Gillinov AM, Pettersson GB, Blackstone E, Klein AL. Success of surgical left atrial appendage closure: assessment by transesophageal echocardiography. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52(11):924–929.
- Lee R, McCarthy PM, Wang EC, et al. Midterm survival in patients treated for atrial fibrillation: a propensity-matched comparison to patients without a history of atrial fibrillation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2012;143(6):1341–1351; discussion 1350–1341.
- Malaisrie, S.C., McCarthy, P.M., Kruse, J., Matsouaka, R.A., Churyla, A., Grau-Sepulveda, M.V., ... Brennan, J.M. (2021). Ablation of atrial fibrillation during coronary artery bypass grafting: Late outcomes in a Medicare population. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 161(4), 1251–1261.e1. doi:10.1016/j.jtcvs.2019.10.159
- Musharbash FN, Schill MR, Sinn LA, et al. Performance of the Cox-maze IV procedure is associated with improved long-term survival in patients with atrial fibrillation undergoing cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2018;155(1):159–170.
- Rankin JS, Lerner DJ, Braid-Forbes MJ, McCrea MM, Badhwar V. Surgical ablation of atrial fibrillation concomitant to coronary-artery bypass grafting provides cost-effective mortality reduction. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2019.
- Richard P Whitlock 1, Emilie P Belley-Cote 1, Domenico Paparella 1, Jeff S Healey 1, Kathryn Brady 1, Mukul Sharma 1, Wilko Reents 1, Petr Budera 1, Andony J Baddour 1, Petr Fila 1, PJ Devereaux 1, Alexander Bogachev-Prokophiev 1, Andreas Boening 1, Kevin HT Teoh 1, Georgios I Tagarakis 1, Mark S Slaughter 1, Alistair G Royse 1, Shay McGuinness 1, Marco Alings 1, Prakash P Punjabi 1, C David Mazer 1, Richard J Folkerling 1, Andrea Colli 1, Álvaro Avezum 1, Juliet Nakamya 1, Kumar Balasubramanian 1, Jessica Vincent 1, Pierre Voisine 1, Andre Lamy 1, Salim Yusuf 1, Stuart J Connolly 1, LAAOS III Investigators. Left Atrial Appendage Occlusion during Cardiac Surgery to Prevent Stroke. *The New England Journal of Medicine.* 2021, 384:2081–2091.
- Арутюнян В.Б., Чрагян В.А. Результаты хирургической изоляции левого предсердия в лечении фибрилляции предсердий у пациентов с ИБС и патологией митрального клапана. *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова.* 2017; 12 (2):47–51.
- Богачев-Прокофьев А.В., Железнев С.И., Овчаров М.А., Афанасьев А.В., Шарифуллин Р.М., Лавинюков С.О. Хирургическая абляция фибрилляции предсердий с редукционной атриопластикой и без атриопластики у пациентов с митральными пороками сердца: проспективное рандомизированное исследование. *Сибирский медицинский журнал.* 2018;33(3):63–70.

24. Богачев-Прокофьев А.В., Железнев С.И., Фоменко М.С., Пивкин А.Н., Шарифулин Р.М., Малахова О.Ю., Караськов А.М. Эффективность сочетанного лечения фибрилляции предсердий у пациентов с обструктивной гипертрофической кардиомиопатией. Вестник аритмологии. 2016; 84:12-16.
25. Богачев-Прокофьев А.В., Пивкин А.Н., Железнев С.И., Афанасьев А.В., Шарифулин Р.М., Караськов А.М. Результаты различных схем абляции предсердий при коррекции пороков митрального клапана и пароксизмальной фибрилляции предсердий: рандомизированное исследование. Анналы аритмологии. 2016; 13(3):128–137.
26. Богачев-Прокофьев А.В., Сапегин А.В., Пивкин А.Н., Шарифулин Р.М., Афанасьев А.В., Овчаров М.А., Караськов А.М. Профилактическая абляция предсердий у пациентов с пороками митрального клапана и атриомегалией. Вестник аритмологии. 2017; 90:24–32.
27. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Мироненко М.Ю., Климчук И.Я., Испирян А.Ю. Хирургическое лечение фибрилляции предсердий с помощью криомодификации операции «Лабиринт». Бюллетень НЦССХ им. А.Н. Бакулева РАМН. Сердечно-сосудистые заболевания. 2015; 16 (56): 82.
28. Бокерия Л.А., Бокерия О.Л., Фатулаев З.Ф., Мироненко М.Ю., Шварц В.А., Климчук И.Я., Шенгелия Л.Д. Отдаленные результаты хирургической коррекции аритмогенной клапанной недостаточности при операции «Лабиринт IIIб». Анналы аритмологии. 2018; 15(2):84–91.
29. Емешкин М.И., Богачев-Прокофьев А.В., Афанасьев А.В., Шарифулин Р.М., Железнев С.И., Овчаров М.А., Караськов А.М. Сравнительная эффективность биатриальной и левопредсердной хирургической абляции в лечении фибрилляции предсердий. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2018; 11(5): 6–14.
30. Ревившили А.Ш., Попов В.А., Аминов В.В., Светкин М.А. Влияет ли операция «лабиринт» на результаты протезирования митрального клапана в госпитальном периоде? // Вестник аритмологии. 2019; 26 (2): 37–44.

---

© Быстров Дмитрий Олегович (dr.bystrov@gmail.com); Комаров Роман Николаевич; Шонбин Алексей Николаевич (anshonbin@gmail.com);  
Афонин Борис Олегович (@sheomf.ru); Мацуганов Денис Алексеевич (denmacug@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОСТРАЯ АРТЕРИАЛЬНАЯ МЕЗЕНТЕРИАЛЬНАЯ ИШЕМИЯ

## ACUTE ARTERIAL MESENTERIC ISCHEMIA

**I. Dolakov  
R. Gezgieva  
Kh. Daskieva  
Ya. Shadieva  
A. Chemurzieva**

*Summary.* Acute mesenteric ischemia remains a pressing problem in abdominal and vascular surgery. Acute mesenteric ischemia is accompanied by high mortality, acute arterial ischemia predominates, with occlusion of the superior mesenteric artery, which causes extensive intestinal damage and requires extensive resections, sometimes incompatible with life. Since it is arterial ischemia that is accompanied by high mortality, an analysis of arterial acute mesenteric ischemia was carried out.

There are no specific markers of intestinal ischemia and pathognomonic clinical signs. Timely diagnosis is possible only with the widespread early use of computed tomographic angiography in all patients with suspected acute mesenteric ischemia. In the surgical treatment of acute mesenteric ischemia, for revascularization of the B stage of ischemia, it is necessary to use endovascular techniques; in the necrosis stage, resection in combination with vascular ones.

Early computed tomographic angiography allows for timely diagnosis of acute mesenteric ischemia in the early stages, and the widespread use of endovascular revascularization allows for the entire complex of vascular interventions, which will significantly improve the results of treatment of this pathology.

*Keywords:* intestinal infarction, embolism, thrombosis, peritonitis, endovascular treatment, surgery.

ВБА — верхняя брыжеечная артерия  
КТ — компьютерная томография  
КТА — компьютерно-томографическая ангиография  
МСКТ — мультиспиральная компьютерная томография  
МРА — магнитно-резонансная ангиография  
НБА — нижняя брыжеечная артерия  
ОАМИ — острая артериальная мезентериальная ишемия  
ССЗ — сердечно-сосудистые заболевания  
ЧС — чревный ствол

**Долаков Ибрагим Гапурович**

кандидат медицинских наук, старший преподаватель,  
Ингушский государственный университет,  
врач-хирург высшей категории  
i\_dolakov@mail.ru

**Гезгиева Райшат Каримовна**

кандидат медицинских наук, старший преподаватель,  
Ингушский государственный университет,  
врач-хирург высшей категории  
rgezgieva@mail.ru

**Даскиева Хава Вахаевна**

Ингушский государственный университет  
hav@icloud.com

**Шадиева Ясмينا Магомедовна**

Ингушский государственный университет  
yasmina1233@icloud.ru

**Чемурзиева Амина Муратовна**

Ингушский государственный университет  
amina\_20@mail.ru

*Аннотация.* Острая мезентериальная ишемия (ОМИ) остается актуальной проблемой абдоминальной и сосудистой хирургии. ОМИ сопровождается высокой летальностью, преобладает острая артериальная ишемия, с окклюзией ВБА, что обуславливает обширные поражения кишечника и требует объемных резекций, порой не совместимых с жизнью. Так как именно артериальная ишемия сопровождается высокой летальностью, проведен анализ артериальной ОМИ.

Отсутствуют специфические маркеры ишемии кишечника и патогномичные клинические признаки. Своевременная диагностика возможна только при повсеместном раннем применении КТА у всех больных с подозрением на ОМИ. В хирургическом лечении ОМИ для реваккуляризации в стадии ишемии необходимо использовать эндоваскулярные методики, в стадии некроза — резекционные в сочетании с сосудистыми.

КТА позволяет своевременно диагностировать ОМИ на ранних стадиях, а широкое применение эндоваскулярной реваккуляризации — проводить весь комплекс сосудистых вмешательств, что позволит значительно улучшить результаты лечения данной патологии.

*Ключевые слова:* инфаркт кишечника, эмболия, тромбоз, перитонит, эндоваскулярное лечение, операция.

*А. Дж. Коккинис (1926) написал об острой мезентериальной ишемии: «Закупорка брыжеечных сосудов — одно из тех состояний, когда диагноз невозможен, прогноз безнадежен, а лечение почти бесполезно».*

*«...не все знают, что резкая боль в животе, симптомы илеуса и коллапс могут означать окклюзию брыжеечных сосудов...» S. Warren и T. Eberhardt, 1935.*

## Актуальность

**О**страя мезентериальная ишемия характеризуется острым расстройством кровотока в мезентериальных сосудах с последовательным развитием стадий ишемии, инфаркта кишки и перитонита.

Наибольшую актуальность из-за инвалидизации и высоких показателей смертности (60–70 % и выше) представляет собой артериальная ОМИ, обусловленная острой окклюзией верхней или нижней брыжеечных артерий [23,1].

ОМИ составляет до 1 % в структуре госпитализированных пациентов с диагнозом «острый живот» и 0,1–0,8 % от всех неотложных состояний.

Средний возраст больных, по разным данным, колеблется от 67 до 71 года [2, 16].

ОМИ сопровождается высокой летальности (67–92 %) без какой-либо тенденции к снижению [1, 3, 7].

Для ОМИ характерна высокая частота сочетанных артериальных эмболий, которая достигает 65–70 %. F. Acosta и соавт. [28] на большом (213 пациентов) аутопсийном материале показали, что сочетанная тромбоэмболия других артериальных бассейнов наблюдается у 68% умерших больных.

### Этиология

Причины развития ОАМИ:

- тромбоэмболия ВБА и НБА (на фоне фибрилляции предсердий, пороков сердца, аневризмы сердца и аорты, кардиомиопатий);
- тромбоз артерий (травма, тромбофилия, атеросклероз);
- экстравакулярные причины (сдавление извне опухолью, воспалительной инфильтрацией).

Причиной окклюзии ВБА в 70 % случаев является эмболия и в 30 % тромбоз [26, 31].

Климова Н.В. (2013) отмечает, что на долю поражения ВБА приходится 85 %, НБА — 10 %, чревного ствола — 5 % всех случаев.

Отмечается преобладание изолированного поражения ВБА — до 91 % от всех случаев окклюзий, по данным Ю.А. Давыдова — до 96 %.

При тромбоэмболии ВБА гораздо чаще поражается проксимальный отдел основного ствола ВБА — в 70 % случаев, закупорка ветвей — в 21 %, а распространение тромбоза с основного ствола на его ветви возникает в 4 % случаев, что обуславливает обширность некротического поражения кишечника [7].

S. Acosta et al. [28] приводят следующие данные: при вскрытии 122 умерших пациентов с эмболической ОМИ в 16 % тромб располагался в области устья аорты ВБА, в корне — в 39 % и в периферических ветвях — в 16 %

(при этом в 29 % случаев расположение тромба не удалось классифицировать).

Частота поражения сегментов при эмболии ВБА по В.С. Савельеву и И.В. Спиридонову [19]:

- устье в 5,2 % всех случаев;
- I сегмент в 64,5 % случаев;
- II сегмент в 27,6 % случаев;
- III сегмент в 7,9 %.

А.И. Хрипун и соавт. [21] приводят следующие данные у своих 385 пациентов с ОМИ: причины ОМИ (на основании клинической картины, наличия у пациента нарушения ритма сердца, интраоперационных данных и секционного материала) распределились следующим образом:

- тромбоэмболия ВБА — у 196 (51 %) больных;
- тромбоз ВБА — у 164 (43 %).

Причиной некроза толстой кишки у остальных 25 (6 %) пациентов явилась острая окклюзия НБА (тромбоз НБА). Преобладали пациенты женского пола — 258 (67 %), мужчин было 127 (33 %). Возраст пациентов варьировал от 41 года до 97 лет (в среднем 74±9 лет). Т.е. окклюзия ВБА встретилась у 94 % больных, а окклюзия НБА — у 6 %.

Н.И. Кусков в 1894 г. на научном заседании врачей «Мариинской больницы для бедных» (Санкт-Петербург) представил казуистический случай сплошного геморрагического инфаркта кишечника вследствие тромбоза всех непарных ветвей БА.

Факторами, способствующими более частому поражению ВБА, являются [15, 7]:

1. Более острый угол отхождения ВБА от аорты, нежели у НБА.
2. ВБА шире и массивней НБА, поэтому эмболу легче проникнуть в более широкое устье ВБА.
3. ВБА располагается анатомически выше НБА.
4. Некроз кишечника при окклюзии НБА развивается реже вследствие наличия развитой коллатеральной сети.
5. ВБА чаще и выраженнее поражается атеросклерозом и атеросклеротические бляшки, расположенные на стенке аорты, иногда переходят на устье ВБА, суживая и деформируя его.

### Классификация

Выделяют окклюзионную и неокклюзионную формы ОМИ. К окклюзионной форме относят эмболию ВБА (около 50 %), тромбоз (от 25–51 %), реже — острый веннозный мезентериальный тромбоз (5–15 %), стеноз или окклюзию устья артерий вследствие атеросклероза или тромбоза, окклюзию артерий в результате диссекции

стенки аорты, сдавление либо прорастание сосудов опухолью, ятрогенную перевязку сосудов [3, 9, 37]. На долю неокклюзионной ишемии приходится от 10 до 20% случаев [1, 8, 20, 24].

#### **Классификация ОНМК по Савельеву В.С.:**

1. *Виды нарушения:*
  - окклюзионные поражения сосудов — эмболия, тромбоз артерий или вен, сдавление сосудов, перевязка сосудов;
  - неокклюзионные — с неполной окклюзией сосуда, ангиоспастическая, связанная с централизацией гемодинамики.
2. *Стадии заболевания:* 1 — стадия ишемии (геморрагического пропитывания при тромбозе вен), 2 — стадия инфаркта кишечника, 3 — стадия перитонита.
3. *По течению:* компенсация, субкомпенсация, декомпенсация.

#### **Клинические формы тромбоза и виды эмболии по Ю.А. Давыдову [7].**

Молниеносная форма — бурное начало и течение заболевания без предвестников.

Острая — с наличием фазы ремиссии в начале заболевания.

Подострая форма — с наличием продромального периода и с преобладанием признаков, симулирующих кишечную непроходимость.

Длительнотекущая форма — преобладание воспалительной реакции кишечника над деструктивными процессами (напоминает энтероколит).

Ангиоспастическая — с хроническим течением или с образованием инфаркта кишечника.

Хроническая форма, с компенсацией или декомпенсацией брыжеечного кровообращения.

#### **Клиника**

Картина ОАМИ не имеет специфических симптомов, часто протекает под маской других острых хирургических заболеваний.

Еще Е. Klein (1921) обращал внимание, что в зависимости от внезапной или постепенной закупорки мезентериальных сосудов наблюдаются различные исходы:

1. При медленной закупорке и достаточно развитой коллатеральной сети в кишечнике не наступает значительных расстройств, и больной продолжает жить.

2. Закупорка хоть и не осложняется инфарктом кишечника, но снабжение кровью последнего может быть ограниченным — достаточным для поддержания жизни и недостаточным для повышенной функции (боли во время пищеварения, абдоминальная ангина).
3. Быстрое развитие закупорки сосудов с образованием инфаркта кишки, некроза и гибелью всех тканей кишечной стенки.

Многие авторы также описываются различные клинические варианты развития заболевания: остро, постепенно (в два темпа), и иногда малозаметное безболезненное начало [15].

У многих больных (50–73 %) за 3–4 дня до острой окклюзии проявляются первые симптомы, которые, как правило, выражены довольно слабо [28].

Начало заболевания характеризуется появлением острой резкой боли в животе с позывами на низ, рвоты. Боли могут быть схваткообразными, постоянными.

Наиболее яркая клиника, бурное течение наблюдается при эмболии ВБА.

Боли, как правило, жестокие, без четкой локализации и иррадиации. Только при остром панкреатите и странгуляционной ОКН могут быть боли такой же интенсивности [15, 13]. Боли продолжаются несколько часов до развития некроза, отмечается крайняя степень беспокойства и страха. Больной мечется, громко стонет, не находит себе места, занимает коленно-локтевое положение. Иногда больной находится в крайне возбужденном состоянии и громко требует активного вмешательства [15].

При окклюзии ВБА боль отличается резкостью и упорством и не снимается наркотиками. Характерна тахикардия. Редко может быть брадикардия [1, 15, 20].

Иногда при ОМИ острые боли в животе внезапно прерываются с тем, чтобы через некоторое время вновь возобновиться с нарастающей силой. Французские авторы называют такое начало болезни «началом в два темпа».

Р. Самарин отмечает, что приблизительно в 20 % всех случаев ОМИ наблюдается мелена [13].

По данным Н.Н. Самарина диарея встречается у половины больных. Автор также указывает, что нередко с бурным началом ни газы, ни кал не отходят.

Примесь крови к стулу может быть выражена в различной степени: от скрытого кровотечения, или неболь-

ших следов крови, до значительной примеси и, наконец, почти до цельной крови [15, 19]. В 75 % случаев выявляется скрытая кровь в кале [41].

Температура тела в начале ОМИ может быть нормальной или пониженной. Мондор считает, что гипотермия является почти обязательным признаком ОМИ. Живот мягкий, безболезненный, перистальтика ослаблена. Характерно отсутствие болезненности при глубокой пальпации — симптом Варламова. Отмечается несоответствие интенсивности боли физикальным данным при осмотре живота — «Painout of proportion».

В стадии инфаркта кишечника в брюшной полости может пальпироваться умеренно или слабо болезненное объемное образование тестоватой консистенции (симптом Мондора, 1937). Чаще этот симптом выявляют при венозном мезентериальном тромбозе. На это обратил внимание еще А.А. Кадыан в 1903 году, при значительной инфильтрации кровью кишечной петли и ее брыжейки получается возможность прощупывания их через брюшную стенку, что создает впечатление опухоли [15].

Н.И. Блинов (1952) наблюдал повышение АД у больных с эмболией мезентериальных сосудов в первый день заболевания. Максимальное повышение АД колебалось между 165 и 233 мм рт. ст. Н.И. Блинов считает, что повышение АД является характерным признаком эмболии мезентериальных сосудов в ранние сроки заболевания и имеет дифференциально-диагностическое значение [6, 15].

В работе многих авторов подтверждается данный факт. Так, А.Г. Земляной (1962) отметил повышение АД у всех больных с эмболией ВБА, АД повысилось на 60–80 мм рт. ст. против обычного для данного больного уровня и держалось на высоких цифрах в течение первых суток заболевания.

Не все клиницисты придают этому симптому значение — одни встречают его редко, другие не находят его, а некоторые считают кратковременным.

Однако надо отметить, что у части больных с самого начала возможна прогрессирующая гипотония при бурном развитии заболевания [7, 13].

Н.Н. Самарин [13] тоже отмечает, что практическое значение в диагностике ОМИ имеют явления коллапса в начале заболевания в совокупности с:

- обнаружением источника эмболии или тромбоза
- внезапным началом с болью в животе
- поносами (кровавый стул) или явлениями полной кишечной непроходимости.

А. Klass (1957) выделяет следующую триаду главных признаков ОМИ [39]:

- интенсивные боли, обычно в эпигастрии, не купируются наркотическими анальгетиками, купируются спазмолитиками;
- рвота желудочным содержимым, нередко с примесью крови;
- тромбогенные/эмбологенные патологии в анамнезе.

По рекомендациям Европейского общества сосудистой хирургии (The European Society of Vascular Surgery — ESVS), «в каждом случае при не находящих объективного объяснения болях в животе в сочетании с подобным анамнезом, необходимо исключать ОМИ».

Так как симптомы ОМИ не отличаются специфичностью, авторы клинического руководства Всемирного общества экстренной хирургии (The World Society of Emergency Surgery — WSES) считают, что «выраженные боли в животе, не соответствующие данным физикального обследования, являются основанием для подозрения на ОМИ», и отметили, что ключом к своевременной диагностике является «высокая степень настороженности» в отношении ОМИ.

**В стадии инфаркта кишечника** (спустя 6–12 часов от начала заболевания) боли уменьшаются, некроз тканей идет параллельно с частичным восстановлением кровотока из-за ангиоспазма и поступления крови по коллатералям. Частичное сохранение и восстановление кровотока вымывает ишемические и внутриклеточные метаболиты, бактериальные токсины в системный кровоток.

Начинается пропотевание крови в просвет кишки, брыжейку и в брюшную полость. В брюшную полость проникает патогенная флора и бактериальные токсины, развивается перитонит. Появляются признаки эндотоксикоза. В рвотных массах и стуле появляется примеси крови. Диарея сменяется запором.

**В III стадии** (наступает через 18–36 часов) отмечают боли по всему животу, состояние прогрессивно ухудшается, нарастают эндотоксикоз, водно-электролитные расстройства. Больные адинамичны, живот вздут, определяются перитонеальные симптомы.

#### Диагностика

*Лабораторная диагностика ОМИ* не имеет каких-либо специфических критериев. Наиболее ранним лабораторным признаком ОАМИ нередко является лейкоцитоз, быстро возникает метаболический ацидоз. По мере прогрессирования ишемии и развития повышенной проницаемости стенки кишки возникает амилаземия.

Уровень амилазы умеренно повышен более чем у 50 % больных, но этот признак не обладает высокой специфичностью. Мы в одном случае доказанной на аутопсии сочетанной тромбоэмболии бифуркации аорты и ВБА с развитием некроза кишки отмечали амилазу крови в пределах 1950 Ед\л (референсные значения до 100 Ед\л).

При развитии инфаркта кишки значительно повышается в крови уровень лактатдегидрогеназы (ЛДГ), аланинаминотрансферазы, аспартатаминотрансферазы и креатининфосфокиназы [7].

Повышенный уровень лактата и D-димера могут косвенно свидетельствовать об ишемии или некрозе кишки. Лактат крови на ранней стадии ОМИ часто бывает в норме. Уровень лактата повышается при прогрессировании ишемии кишечника [7, 8], лактат крови более 2 ммоль/л ассоциируется с некрозом кишки [2, 30].

Тест как D-димер обладает достаточно высокой чувствительностью (96 %), но низкой специфичностью (40 %). С уверенностью можно констатировать только, что когда D-димер не повышен, то тромбоз исключается. При этом повышение D-димера в крови никак не указывает на наличие тромбоза [1, 2, 8].

Evennett N.J. и соавт. [33] считают, что идеальным может быть белок, связывающий жирные кислоты кишечника (I-FABP), альфа глутатион S-трансфераза (GST) и D-лактат. При развитии ОМИ и повреждении эритроцитов I-FABP являются ее маркерами, в анализах мочи и крови уровень белка значительно выше по сравнению с таковым у здоровых лиц.

Другой потенциальный маркер — альфа-GST из цитозольных ферментов, участвующих в детоксикации и освобождающихся из различных клеток при повреждении мембраны клеток [36]. GST отличается высокой активностью, особенно в печени и слизистой оболочке кишечника [29]. Чувствительность и специфичность GST в диагностике ОНМК — 0,68 и 0,85 соответственно.

Таким образом, на данный момент не существует определенного лабораторного маркера ОМИ и первоочередное значение в диагностике имеют инструментальные исследования.

МСКТ, аортомезентерикография и дуплексное сканирование рассматривают в качестве обязательного метода исследования при подозрении на ОМИ [1, 8, 17, 20].

Традиционные методы исследования, (ультразвуковое исследование и обзорная рентгенография брюшной полости), не позволяют достоверно установить диагноз ОАМИ.

Рентгенография органов брюшной полости становится информативной только при развитии гангрены и перфорации кишечника, когда визуализируется свободный газ в брюшной полости. Отсутствие свободного газа в брюшной полости не исключает наличия ишемии стенки кишки [14]. Только в 11 % был диагностирован свободный газ как следствие перфорации кишки и распространенного перитонита [9].

Ярошук С.А. [24] отмечает, что обзорная рентгенография живота информативна у 25 % больных и выявляет неспецифические проявления ОМИ — признаки кишечной непроходимости, отек стенки кишечника, спазм кишечной стенки, выраженную пневматизацию тонкой кишки, реже — уровни жидкости, и еще реже — газ в кишечной стенке.

Ультразвуковое исследование у большинства больных позволяет выявить пневматизацию кишечника, большое количество жидкости в желудке, отек кишечной стенки, УЗИ признаки динамической непроходимости, отсутствие перистальтики, расширение петель кишечника, наличие свободной жидкости в межпетельном пространстве.

Дуплексное сканирование с цветным картированием позволяет визуализировать портальную и брыжеечные вены, венозные и артериальные тромбы. Но в условиях метеоризма оно теряет свои преимущества. Дооперационный диагноз может быть установлен при ультразвуковом ангиосканировании лишь у 17–18 % пациентов с острой окклюзией ВБА [3, 18, 20].

Диагностическая лапароскопия. Достоверные лапароскопические признаки ОМИ появляются позже ангиографических на 1–3 часа. По одним данным, лапароскопия не позволяет установить диагноз острой окклюзии ВБА у 43 % больных, причем ишемическая стадия может быть заподозрена лишь в 36 % случаев. По другим данным, при проведении лапароскопии в каждом втором наблюдении обнаруживается мезентериальный тромбоз с тотальным некрозом тонкой кишки, в третьем — острая абдоминальная ишемия без некроза кишки, в четвертом — тромбоз с сегментарным некрозом тонкой кишки. Чувствительность и точность лапароскопии в диагностике мезентериального тромбоза составляет 100 % [5, 8, 9].

До сегодняшнего дня «золотым стандартом» диагностики ОМИ считалась ангиография, которая позволяет верифицировать диагноз в 85–95 % случаях. Выполняют аортографию в 2 проекциях с последующей селективной мезентерикографией.

В последнее время появляется все большее число публикаций, посвященных применению компьютерной

томографии и магниторезонансной ангиографии в диагностике ОМИ. В настоящее время КТА считается «золотым стандартом» и ведущим методом для выявления специфических и неспецифических признаков ОМИ.

При КТА наряду с возможной патологией внутренних органов артериальная и венозная фазы выявляют тромбы в брыжеечных артериях и венах, патологическое усиление контрастности стенки кишки, признаки эмболии и инфаркты других органов, в паренхиматозную фазу включаются другие заболевания.

При подозрении на ОМИ всем пациентам необходимо экстренно выполнять КТ-ангиографию, особенно в случаях, когда боли в животе не находят объяснения при физикальном и инструментальном обследовании [17].

По данным КТ-исследований включения воздуха в просвете магистральных сосудов брыжейки и воротной вены находят не всегда [14, 24].

При нативном КТ можно заподозрить ОМИ по следующим признакам: интестинальный пневматоз, утолщение стенок и расширение просвета пораженного участка кишки, тяжесть и уплотнение параколической клетчатки, выпот [14, 16]. Чувствительность КТА при диагностике ОМИ варьирует от 73 до 100 %, а специфичность — от 92 до 100 %.

В ряде работ отмечается невозможность дифференцировать обратимую и необратимую ишемию по КТ-признакам. Однако А.И. Хрипун и соавт., Zhang Z. указывают, что КТ-признаками некроза кишечника являются свободный газ в кишечной стенке и/или мезентериальных и портальной венах с отсутствием контрастирования самой кишечной стенки [21, 40]. Их наличие явно свидетельствует о некрозе кишки и служит показанием к экстренной лапаротомии.

Chou С.К. (2004) указывает, что газ в воротной системе и газ в стенке кишечника при КТ обладают 100 % специфичностью при ОМИ.

По рекомендациям WSES, «КТ-ангиография должна быть выполнена в максимально короткие сроки любому пациенту с подозрением на ОМИ». При этом авторы отмечают, что «КТ-ангиография должна быть выполнена, несмотря на почечную недостаточность, так как последствия несвоевременной диагностики и лечения ОМИ окажутся куда более фатальными».

В целом риск почечной недостаточности, вызванной контрастированием, у пациентов с ОМИ незначителен, особенно у пациентов с нормальной функцией почек [28].

Завражнов А.А. и соавт. (2023) отмечают, что КТА следует выполнять всем пациентам с подозрением на ОМИ, даже при наличии острой почечной недостаточности, так как несвоевременная диагностика ОМИ более опасна, чем контраст-индуцированная нефропатия.

Чувствительность и специфичность МРА при мезентериальных стенозах и окклюзиях приближаются к 100 %.

3D магнитно-резонансная ангиография является высокоинформативным и неинвазивным методом, позволяет локализовать уровень окклюзии артерии или вены в 100 % случаев, а также выявить степень ишемии кишки и анатомические особенности сосудов [31].

МРТ менее информативна для выявления участков ишемии кишечника по сравнению с КТ. К примеру, газ в стенке кишки и портальной вене МРТ достоверно определить не может [1, 5, 20].

I.B. Olivaetal (2013) отмечает, что МРА может использоваться для обнаружения проксимальной обструкции ВБА и ЧС, но при оценке окклюзий дистальных артерий и других кишечных симптомах ОМИ имеет меньшую ценность. Тимербулатов В.М. и соавт. (2016) указывают, что МРА подходит для идентификации более дистально расположенных окклюзий и не имеет пространственного разрешения, как КТА [20].

### Лечение

Лечение ОАМИ предполагает экстренное хирургическое вмешательство. Немедленная диагностика и экстренная операция сопровождаются летальностью до 10 %, а в случае задержки хирургического лечения более 24 часов эти показатели достигают 80–100 % [2, 3, 7].

Рестроспективные исследования показывают, что в случае задержки лечения менее 12 часов не требуется резекция кишки [1, 17].

Задачами хирургического вмешательства являются восстановление мезентериального кровотока, резекция некротизированных участков кишечника.

В настоящее время утвердилась концепция, что реваскуляризация у больных с ОАМИ необходима в большинстве случаев. Восстановление мезентериального кровотока возможно двумя способами: открытым и эндоваскулярным, который более предпочтителен.

Наиболее крупное на сегодняшний день исследование, посвященное сравнению эффективности способов реваскуляризации, выполнено в Институте Джона Хопкинса в Балтиморе и включает 679 пациентов, из которых 165 (24,3 %) были оперированы эндоваскулярно. Ав-

торы сообщают о 87 % эффективности эндоваскулярных операций и снижении летальности с 40 до 25 %.

Лучшие результаты эндоваскулярных вмешательств показали Z. Zhang et al.: лапаротомия и резекция кишечника в группе эндоваскулярной хирургии потребовались в 33,3 % случаев, против 58,3 % у пациентов после открытой артериальной реконструкции ( $p=0,26$ ). Летальных исходов меньше отмечалось после эндоваскулярных вмешательств: 16,7 % против 33,3 % ( $p=0,68$ ). Также достоверные отличия получены по длине резецированного кишечника в пользу эндоваскулярного метода лечения: ( $88\pm 44$ ) против ( $253\pm 103$ ) см ( $p=0,01$ ) [40].

Убедительные положительные результаты эндоваскулярного подхода по сравнению с открытыми артериальными реконструкциями демонстрируют и другие авторы [25, 32].

#### **Основные эндоваскулярные методы лечения ОАМИ:**

- баллонная ангиопластика и стентирование ВБА;
- реолитическая тромбэктомия;
- тромболизис;
- аспирационная тромбэктомия;
- эндартерэктомия (тромбинтимэктомия) из ЧС, ВБА;
- протезирование;
- шунтирование.

Хрипун А.И. и соавт. [21, 22] приводят следующие данные о эндоваскулярных вмешательствах: баллонная ангиопластика и аспирационная тромб- или эмболэктомии в 43 % случаев и стентирование ВБА в связи со значимым остаточным стенозом (из-за сохранения остатков тромботических масс или эмбола) ее просвета после ангиопластики и аспирации в 57 % случаев.

Авторы выделяют следующие показания к эндоваскулярному вмешательству при ОАМИ:

- наличие ясного сознания пациента;
- отсутствие перитонеальной симптоматики;
- отсутствие картины перфорации полого органа;
- отсутствие КТ-признаков некроза кишечника (свободный газ в кишечной стенке или мезентериальных сосудах);
- отсутствие инотропной или вазопрессорной поддержки при поступлении и перед операцией, т.е. стабильная гемодинамика.

*Стадия ишемии кишечника при острой окклюзии ВБА должна служить показанием для эндоваскулярного вмешательства, и рентгеноэндоваскулярное восстановление кровотока должно быть приоритетным.*

Системный тромболизис при нарушении мезентериального кровообращения проводится по схеме лечения

острого инфаркта миокарда [24]. Однако в литературе мало работ, посвященных системному тромболизису при лечении больных с ОМИ. Наименее травматичным является селективный катетерный тромболизис.

После любого варианта эндоваскулярного удаления тромба необходимо обязательно устранить стеноз (окклюзию), при их наличии.

Классическим вариантом эндоваскулярного устранения стеноза (окклюзии) является баллонная ангиопластика со стентированием. Впервые это вмешательство при окклюзии брыжеечных артерий произвели Furrer J. и соавт. около 40 лет назад.

Удачно сочетает между собой удобство «открытых» операций с преимуществами эндоваскулярных вмешательств так называемая гибридная техника, которая получила аббревиатуру ROMS (Retrograde open mesenteric stenting). ROMS является хорошей альтернативой эндоваскулярной операции, если через артерии не удастся пройти из-за их патологического поражения.

Однако эндоваскулярные методики чреватые развитием после реваскуляризации в раннем послеоперационном периоде прогностически неблагоприятным реперфузионным синдромом.

Реперфузионный синдром может приводить к летальному исходу от септического шока и полиорганной недостаточности еще до развития некроза кишечника [11, 38].

Обязательным компонентом после эндоваскулярных вмешательств А.И. Хрипун и соавт. (2023) считают необходимым «программированную» лапароскопию через 6–12 часов после успешной реваскуляризации с целью исключения некроза кишки для проведения экстракорпоральной детоксикации при реперфузионном синдроме.

Необходимость в резекции кишечника после эндоваскулярных вмешательства возникает в 36–45 % случаев, а показатели летальности варьируют от 12 до 46 % [21, 22].

#### **Резекция кишки**

Необходимо широко использовать принципы тактики damage control — отказ от наложения первичного анастомоза и применение контрольной релапаротомии с целью максимально возможного сохранения жизнеспособной кишки. При отсутствии перитонита необходима ревизия ВБА и ее ветвей, прямая/непрямая тромбэмболэктомия и реконструктивная ангиопластика.

Следует отметить, что открытые сосудистые вмешательства при ограниченных некрозах выполняют после

резекции кишки. По мнению В.В. Багдасарова [3], операцией выбора при острой ОАМИ, осложненной некрозом кишки, является резекция. Восстановление кровотока при инфаркте кишки до ее резекции связано с реальной опасностью развития тяжелого эндотоксикоза.

В течение 12–24 часов проводится запрограммированная релапаротомия/релапароскопия (second look operation). При отсутствии противопоказаний накладывают межкишечный анастомоз. При продолженном

некрозе кишки выполняется повторная резекция без анастомоза с выполнением повторной запрограммированной релапаротомии через 24–48 час.

Касательно технических моментов резекции кишки при его некрозе, Власов А.П. [4] отмечает необходимость выполнения этапа мобилизации кишечника строго по брыжеечному краю, что позволяет сохранить кровотоки по коллатералям в пределах брыжеечных аркад, и обеспечивает сохранение кровотока в зоне анастомоза.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абуов С.М., Кошербаева Л.К., Жаппаргалы Н.Е., Карибаева А.Е., Бузанов О.М., Кенесов Н.М., Абжамиева А.А., Алчинбаев А.А. Острое нарушение мезентериального кровообращения: вопросы современной диагностики и лечения (обзор литературы). Вестник КазНМУ. 2020;4:355–362.
2. Богдан А.П., Генрих С.Р., Бухтояров А.Ю., Исаева И.В., Дурлештер В.М., Полухина Д.Р., Авакимян В.А., Карипиди Г.К., Алуханян О.А. Принципы диагностики и лечебной тактики при острой мезентериальной ишемии (обзор литературы и собственный опыт). Вестник хирургической гастроэнтерологии. 2019;3:37–45.
3. Багдасаров В.В., Багдасарова Е.А., Чернооков А.И., Рамишвили В.Ш., Атаян А.А., Ярков С.А. Лечебно-диагностическая тактика при острой интестинальной ишемии. Хирургия 6, 2013. 44–50
4. Власов А.П. Кишечный шов в условиях нарушенного кровоснабжения. Вестник хирургии, 1992, №4–5–6, 138–143.
5. Галяутдинова Л.Э., Басек И.В., Карпова Д.В., Марукян Н.В., Наседкин Д.Б., Боршевецкая А.А., Егорова В.С., Лукин М.В. Возможности кт-ангиографии в диагностике острого мезентериального тромбоза: клиническое наблюдение. Российский журнал персонализированной медицины. Том №3, 1. 2023. 124–131.
6. Блинов Н.И. Клиническая медицина. 1952, том 30. № 5. 81
7. Давыдов Ю.А. Инфаркт кишечника и хроническая мезентериальная ишемия / Ю.А. Давыдов. — М.: Медицина, 1997. — 344 с.
8. Гафарова А.Р., Тимербулатов Ш.В. Острая мезентериальная ишемия: Этиология и современные методы ранней диагностики. медицинский вестник Башкортостана. Том 17, № 1 (97), 2022. 58–65.
9. Завражных А.А., Соловьев И.А., Оглоблин А.Л., Зеленин В.В., Аванесян Р.Г., Боско О.Ю., Лучинина Д.В., Киладзе К.П. СТРАТЕГИЯ Диагностики и лечения пациентов с острым нарушением мезентериального кровообращения в условиях многопрофильного стационара. Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова 2023, т. 18, №2. 36–40.
10. Затевахин, Р.Х., Агзамов Н.В., Климова Н.В. Компьютерная томография в диагностике острого нарушения мезентериального кровообращения // Радиология — практика. — 2013. — № 4. — С. 32–38.
11. Неймарк М.И. Синдром ишемии-реперфузии. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2021;(9):71–76.
12. Прозоров С.А., Гришин А.В. Эндovasкулярные методы лечения при остром нарушении мезентериального кровообращения. Журнал им. Н.В. Склифосовского. Неотложная медицинская помощь — 2, 2016.37–42
13. Самарин Н.Н. Диагностика острого живота. М., 1952. 476
14. Старосельцева О.А., Нуднов Н.В., Радутная М.Л., Кирчин А.Н., Бондарь Е.А., Бессонова Л.В., Алтухов Е.Л., Яковлев А.А., Шайбак А.А. Сложности лучевой диагностики острого мезентериального тромбоза у пациентов в хроническом критическом состоянии. Вестник рентгенологии и радиологии | Journal of Radiology and Nuclear Medicine, 2021, Том 102, №4. 217–226.
15. Норенберг-Чарквиани А.Е. Тромбозы и эмболии брыжеечных сосудов. М., 1967, 223.
16. Панкратов А.А., Переходов С.Н., Зеленин Д.А., Израилов Р.Е., Матков И.В. Острая мезентериальная ишемия-инкурабельная ситуация? Современное состояние проблемы. Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. 2020;12:105–110.
17. Подолужный В.И., Старцев А.Б., Радионов И.А. Острая мезентериальная ишемия: современный взгляд на проблему. Фундаментальная и клиническая медицина. ТОМ 8, № 1, 2023. 101–108.
18. Савельев В.С., Спиридонов И.В., Болдин Б.В. Острые нарушения мезентериального кровообращения. Инфаркт кишечника: Руководство по неотложной хирургии / Под ред. В.С. Савельева. М.: Трида-Х, 2004. С. 281–302.
19. Савельев В.С., Спиридонов И.В. Острые нарушения мезентериального кровообращения. М.: Медицина, 1979. 232 с.
20. Тимербулатов В.М., Сахаутдинов В.Г., Тимербулатов Ш.В., Смыр Р.А., А.М. Саргсян А.М. Острое нарушение мезентериального кровообращения. Эндоскопическая хирургия, 3, 2016, 44–49
21. Хрипун А.И., Прямыков А.Д., Миронков А.Б., Алимов А.Н. Острая артериальная мезентериальная ишемия — 15-летний опыт хирургического лечения в многопрофильном стационаре. Хирургия. Журнал имени Н.И. Пирогова 2023, №6, с. 6–12
22. Хрипун А.И., Миронков А.Б., Прямыков А.Д., Тюрин И.Н., Алимов А.Н., Агасян Г.А. Эндovasкулярное лечение пациентов с тромбозом верхней брыжеечной артерии. Вестник хирургии им. И.И. Грекова. 2019;178(6):36–40.
23. Щеголев А.А., Мутаев М.М., Папоян С.А., Чевочкин А.Ю., Мутаев Р.М. Гибридное вмешательство при сочетанной эмболии верхней брыжеечной и бедренной артерии у больной 95 лет (клиническое наблюдение). Ангиология и сосудистая хирургия. Журнал им. акад. А.В. Покровского. 2022;28(2):81–86.

24. Ярошук С.А., Баранов А.И., Каташева Л.Ю., Лещинин Я.М. Острая мезентериальная ишемия: подходы к диагностике и оперативному лечению. Медицина в Кузбассе. 2018;17(2):35–42.
25. Arthurs Z.M., Titus J., Bannazadeh M. et al. A comparison of endovascular revascularization with traditional therapy for the treatment of acute mesenteric ischemia. J Vasc Surg. 2011;53(3):698–704.
26. Acosta S. Epidemiology of mesenteric vascular disease : clinical implications // Semin. Vasc. Surg. 2010. Vol. 23, No 1. P. 4–8. 27. Acosta S. Mesenteric ischemia // Curr. Opin. Crit. Care. 2015. No 21. P. 171–178.
27. Acosta F., Ogren M., Sternby N-H., Bergqvist D., Björck M. Clinical implications for the management of acute thromboembolic occlusion of the superior mesenteric artery: autopsy findings in 213 patients. Ann Surg. 2005; 241(3):516–522.
28. Acosta S. Current status on plasma biomarkers for acute mesenteric ischemia / S. Acosta, T. Nilsson//J. Thromb. Thrombolysis. — 2012. — Vol. 33, № 4. — P. 355–361.
29. Acosta S. D-dimer testing in patients with suspected acute thromboembolic occlusion of the superior mesenteric artery / S. Acosta, T.K. Nilsson, M. Björck // Br. J. Surg. — 2004. — Vol. 91, № 8. — P. 991–994.
30. Acosta S., Björck M. Acute thrombo-embolic occlusion of the superior mesenteric artery: a prospective study in a well defined population. Eur J Vasc Endovasc Surg. 2003;26(2):179–183.
31. Block T.A., Acosta S., Björck M. Endovascular and open surgery for acute occlusion of the superior mesenteric artery. J Vasc Surg. 2010; 52(4):959–966.
32. Evennett NJ, Petrov MS, Mittal A, Windsor JA. Systematic review and pooled estimates for the diagnostic accuracy of serological markers for intestinal ischemia. World J Surg. 2009;33:1374–1383.
33. Chang DT, Cover J, Nabi H, et al. The role of heparin in a warfarinized patient with mesenteric venous thrombosis. Int J Colorectal Dis. 2016;31:4:923–924.
34. Faber J. Die Embolie der Arteria mesenterica superior. Dtsch. Arch. Klin. Med. 1875; 16: 527–563.
35. Khurana S, Corbally MT, Manning F, Armenise T, KierceB, Kilty C. Glutathione S-transferase: a potential new marker of intestinal ischemia. J Pediatr Surg. 2002;37:1543–1548.
36. Марстон А. Сосудистые заболевания кишечника. Патофизиология, диагностика и лечение. М.: Медицина; 1989.
37. Poti F, Giorgio C, Zini I, Nofer JR, Vivo V, Palese S, Ballabeni V, Barocelli E, Bertoni S. Impact of S1P mimetics on mesenteric ischemia/reperfusion injury. Pharmaceuticals (Basel). 2020;13:10:298.
38. Klass AA. Embolectomy in acute mesenteric occlusion. Ann Surg. 1951;134:913–917.
39. Zhang Z., Wang D., Li G. et al. Endovascular treatment for acute thromboembolic occlusion of the superior mesenteric artery and the outcome comparison between endovascular and open surgical treatments: a retrospective study. Biomed Res Int. 2017;2017:1964765.
40. Ottinger LW. The surgical management of acute occlusion of the superior mesenteric artery. Ann Surg. 1978;188:721–31.

---

© Долаков Ибрагим Гапурович (i\_dolakov@mail.ru); Гезгиева Райшат Каримовна (rgezgieva@mail.ru);  
Даскиева Хава Вахаевна (hav@icloud.com); Шадиева Ясмينا Магомедовна (yasmina1233@icloud.ru); Чемуриева Амина Муратовна (amina\_20@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ХИРУРГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЬНЫХ КОЛОРЕКТАЛЬНЫМ РАКОМ

## SURGICAL RESULTS OF TREATMENT OF PATIENTS WITH COLORECTAL CANCER

**O. Kaganov**  
**S. Frolov**  
**A. Kozlov**  
**D. Shvets**  
**N. Blinov**

*Summary.* In recent years colorectal cancer is taking leading positions in the structure of cancer mortality in Samara Region. Annually more than a thousand surgical interventions are performed for patients with colorectal cancer in high-volume medical centers. The analysis of 5 years surgical treatment results for patients with colorectal cancer who were treated in the department of abdominal oncology of Samara Regional Clinical Oncology Dispensary was performed. The study was prospective, the structure of complications and significance of various prognostic factors were studied. The frequency of postoperative complications was 23 %, but the proportion of clinically significant complications Clavien-Dindo Grade $\geq$ III did not exceed 9 %. The mortality rate was 1 %. Significant risk factors for the development of septic complications in patients with colorectal cancer care: male gender, obesity, low rectal cancer, neoadjuvant chemoradiotherapy, malnutrition. A thorough assessment of perioperative risks, predicting the development of postoperative complications, can improve the efficiency of the use medical clinic resources, reduce mortality rate and the number of undesirable events, especially in the group of high-risk patients. COVID-19 is also a significant prognostic factor for postoperative inflammatory complications in patients with colorectal cancer.

*Keywords:* colorectal cancer, postoperative complications, prognostic factors, COVID-19.

**Каганов Олег Игоревич**

д.м.н., профессор, Самарский государственный  
медицинский университет  
okaganov@yandex.ru

**Фролов Сергей Александрович**

заведующий онкологическим отделением  
(абдоминальное №1), Самарский областной клинический  
онкологический диспансер  
frol\_ser@mail.ru

**Козлов Алексей Михайлович**

Кандидат медицинских наук, заведующий  
онкологическим отделением (абдоминальное №2),  
Самарский областной клинический  
онкологический диспансер  
amihalu4@gmail.com

**Швец Денис Сергеевич**

врач-онколог, абдоминальное отделение №2,  
Самарский областной клинический  
онкологический диспансер  
shvetsdenis@rambler.ru

**Блинов Никита Вячеславович**

врач-онколог, онкологическое отделение  
(абдоминальная онкология) №1, Самарский областной  
клинический онкологический диспансер  
blinovnv@samaraonko.ru

*Аннотация.* В Самарской области колоректальный рак в последние годы занял лидирующие позиции в структуре смертности от злокачественных новообразований. В высокопоточковых центрах выполняется более тысячи хирургических вмешательств у больных раком толстой кишки ежегодно. Проведен анализ хирургических результатов лечения больных колоректальным раком, находившихся на лечении в отделении абдоминальной онкологии ГБУЗ СОКОД за 5 лет. Исследование носило проспективный характер, подробно изучена структура осложнений и значимость различных факторов прогноза. Частота послеоперационных осложнений составила 23 %, однако доля клинически значимых осложнений Grade $\geq$ 3 по Клавьен-Диндо не превысила 9 %. Летальность составила 1 %. Значимыми факторами риска развития гнойно-септических послеоперационных осложнений оказались: мужской пол, ожирение, локализация опухоли в нижнеампулярном отделе прямой кишки, проведение неoadьювантной химиолучевой терапии, гипоальбуминемия. Тщательная оценка периоперационных рисков, прогнозирование развития послеоперационных осложнений, может рационализировать использование ресурсов клиники, снизить летальность и количество нежелательных событий, особенно у пациентов высокого риска. Инфекция COVID-19 также является значимым фактором прогноза послеоперационных воспалительных осложнений у больных колоректальным раком.

*Ключевые слова:* колоректальный рак, послеоперационные осложнения, факторы прогноза, COVID-19.

## Актуальность

**В** Самарской области колоректальный рак в последние годы занял лидирующие позиции в структуре смертности от злокачественных новообразований [1]. Хирургический метод лечения остается основным методом в лечении рака толстой кишки. При более продвинутых стадиях заболевания, местно-распространенных и диссеминированных формах, хирургия является компонентом комбинированного и комплексного подхода к лечению [2,3]. По данным литературы послеоперационные осложнения развиваются у 10–46 % оперированных пациентов [4]. Непосредственные хирургические результаты лечения влияют на качество жизни больных, своевременность начала дополнительного специального лечения, тем самым внося свой вклад в отдаленный онкологический результат лечения. Кроме того, показано, что развитие гнойно-септических осложнений, ассоциированных с более интенсивным выбросом провоспалительных цитокинов в области хирургического вмешательства, может оказывать неблагоприятное влияние на развитие местного рецидива опухоли [5,6].

В условиях централизованной онкологической службы, региональный онкологический диспансер становится высокопотокным центром по лечению колоректального рака, где должны быть представлены все самые современные высокотехнологичные лечебные и диагностические технологии. Такая организационная модель требует стандартизации подходов к выполнению всех выполняемых хирургических процедур, а также объективной непредвзятой оценки результатов их проведения. Работа по тщательному учету и мониторингу послеоперационных осложнений и анализу неблагоприятных факторов прогноза начата в отделении абдоминальной онкологии в 2017 году.

*Цель данного исследования:* проанализировать хирургические результаты лечения больных колоректальным раком в отделении абдоминальной онкологии за 5 лет, выявить значимые факторы прогноза послеоперационных осложнений.

## Материалы и методы исследования

Исследование носило проспективный характер. Данные медицинской документации больных колоректальным раком, поступающих на лечение в отделении абдоминальной онкологии Самарского областного онкологического диспансера с 2017 по 2021 год, заносились в специально созданную базу данных. Операции, выполненные в отделении больным колоректальным раком по годам представлены в таблице 1. В поля базы данных вносились характеристики, связанные с опухолью толстой кишки, выполненным хирургическим вмешательством, а также соматическим статусом пациента (таблица 2).

Таблица 1.

Объемы и количество хирургических вмешательств, выполненных в отделении абдоминальной онкологии больным колоректальным раком в 2017–2021 гг.

Характер вмешательства	2017	2018	2019	2020	2021	Всего
Резекция сигмовидной кишки	148	150	156	128	145	727
Гемиколэктомия справа	136	141	138	121	129	665
Гемиколэктомия слева	55	71	68	60	59	313
Резекция поперечной ободочной кишки	8	14	10	15	12	59
Субтотальная колэктомия	4	3	5	4	2	18
Передняя резекция прямой кишки	179	187	191	174	176	907
Обструктивная резекция прямой кишки	78	86	91	86	89	430
Брюшно-промежностная экстирпация прямой кишки	45	39	47	38	42	211
Брюшно-анальная резекция прямой кишки	4	6	2	5	6	23
Трансанальные эндоскопические операции	12	13	16	11	12	64
Формирование колостомы	38	54	44	42	50	228
Формирование обходного илеотрансверзоанастомоза	14	10	12	10	8	54
Реконструктивно-восстановительная операция на толстой кишке	60	64	78	52	73	327
Закрытие колостомы/ илеостомы	141	148	151	120	136	696
Эндоскопическое удаление опухоли толстой кишки	16	15	18	7	12	68
Всего	938	1001	1027	873	951	4790

При анализе результатов хирургического лечения оценивали развитие послеоперационных осложнений, с оценкой степени тяжести по шкале Clavien Dindo, летальность. Полученный массив данных позволил провести унивариантный анализ влияния различных факторов на развитие послеоперационных осложнений. Для статистической обработки данных применялся пакет программ SPSS 18.0.

## Результаты

Всего за 5 лет было выполнено 4790 операций у больных колоректальным раком. В динамике количество хирургических вмешательств росло все последние годы, однако, два «ковидных» года немного нарушили этот

Таблица 2.  
Основные факторы риска развития послеоперационных осложнений, включенные в анализ

Факторы связанные с опухолью	Факторы, связанные с операцией	Факторы, связанные с пациентом
Стадия	Доступ: Лапароскопия\ открытая	Пол
Локализация опухоли в отделах толстой кишки	Лимфодиссекция D2\D3	Возраст
Неoadьювантная терапия да/нет	Анастомоз/колостома	Курение
Метастазы в печень	Превентивная стома да/нет	Гипоальбуминемия менее 35 г/л
Канцероматоз брюшины	Анастомоз ручной/ степлер	Инфаркт миокарда в анамнезе
Опухолевая толстокишечная непроходимость	Объем операции: стандартная, комбинированная, симультанная	Анемия менее 80 г/л
	Хирург: персональные результаты хирургов отделения	Инфекция Covid19 во время госпитализация, или тяжелая инфекция в анамнезе
	Периоперационная гемотранфузия	Индекс массы тела
	Кровопотеря	Тромбоцитоз более 400 тыс/мкл
	Продолжительность операции	Похудение за время болезни более 10 % от массы тела

восходящий тренд. Из-за неблагоприятной эпидемиологической обстановки до 100 пациентов в каждый год пандемии не смогли получить специализированную и высокотехнологичную онкохирургическую помощь.

Хорошо известно, что наиболее часто выполняемые операции при колоректальном раке это резекция прямой кишки, резекция сигмовидной кишки и правосторонняя гемиколэктомия. Это связано с частотой выявления опухолей соответствующих локализаций. Данные вмешательства составили более половины всех вмешательств, выполненных пациентам за 5 лет.

Среднее количество послеоперационных осложнений составило 23 %, однако, частота осложнений существенно варьирует в зависимости от объема выполненной операции. Очевидно, что самое большое количество осложнений при БПЭ прямой кишки — 52 %, и минимальное количество осложнений при закрытии превентивных стом, формировании обходных анастомозов и при выполнении эндоскопических внутрипросветных вмешательств. Логично было бы предположить, что выполнение резекции толстой кишки малоинвазивным доступом, подразумевающим минимальную травматизацию тканей передней брюшной стенки, должно сопровождаться меньшим количеством инфекций области хирургического вмешательства. Однако, данное предположение не нашло подтверждения в нашем исследовании, статистически значимых различий выявлено не было. Доля операций выполненных лапароскопическим доступом в нашем отделении хоть и растет ежегодно, но по результатам 2021 года не превысила 22 %. Структура лапароскопических операций выполняемых в отделении представлена в таблице №3.

Умерло за пять лет в отделении абдоминальной онкологии 50 пациентов с диагнозом колоректальный рак, летальность составила 1%. Основными причинами летальности были сердечно-сосудистые осложнения — ТЭЛА, инфаркт миокарда, а также гнойно-септические осложнения.

За 5 лет было выполнено 665 правосторонних гемиколэктомий. Послеоперационный период протекал

Таблица 3.



Таблица 4.  
Частота послеоперационных осложнений и летальности в зависимости от вида выполненного хирургического вмешательства

Характер вмешательства	Всего операций	Всего осложнений	Несостоятельность анастомоза	Летальность
Резекция сигмовидной кишки	727	31 %	3,7 %	1,3 %
Гемиколэктомия справа	665	22 %	3 %	2,1 %
Гемиколэктомия слева	313	15 %	1,5 %	0,6 %
Резекция поперечной ободочной кишки	59	16,9 %	0	0
Субтотальная колэктомия	18	22 %	0	0
Передняя резекция прямой кишки	907	33 %	14 %	0,4 %
Обструктивная резекция прямой кишки	430	36 %	–	4,8 %
Брюшно-промежностная экстирпация прямой кишки	211	52 %	–	0,4 %
Брюшно-анальная резекция прямой кишки	23	23 %	5,2 %	0
Трансанальные эндоскопические операции	64	3,1 %	–	0
Формирование колостомы	228	18 %	–	2,1 %
Формирование обходного илеотрансверзоанастомоза	54	13 %	0	1,8 %
Реконструктивно-восстановительная операция на толстой кишке	327	33 %	5,5 %	0
Закрытие колостомы/илеостомы	696	11,2 %	1,1 %	0
Эндоскопическое удаление опухоли толстой кишки	68	1,4 %	–	0
Всего	4790	23 %	–	50 (1 %)

с осложнениями у 22 % больных. При этом осложнения Grade 3 и тяжелее развились у 11 % больных. Несостоятельность анастомоза составила 3 %. Основная же группа послеоперационных осложнений — гнойно-септические — у 9 % больных. Изучено влияние стадии, возраста больного на частоту послеоперационных осложнений — статистически значимых различий в подгруппах не выявлено. Лапароскопический доступ был использован у 30 % больных, влияния варианта доступа на развитие осложнений также не показано. Объем выполненной лимфодиссекции также не был значимым фактором, влияющим на развитие осложнений и летальность. Как и способ формирования анастомоза — 70 % анастомозов были сформированы с использованием степлеров. Летальность в данной подгруппе больных составила 2,1 % (умерло 15 пациентов).

Таблица 5.  
Структура осложнений после правосторонней гемиколэктомии 2017–2021 гг.

Осложнение	Clavien Dindo							Всего
	Grade I	Grade II	Grade IIIa	Grade IIIb	Grade IVa	Grade IVb	Grade V	
ИОХВ	41	10	3	5			2	61 (9 %)
Несостоятельность анастомоза				7	5	3	5	20 (3 %)
Мезентериальный тромбоз						1	3	4
Спаечная кишечная непроходимость				5				5
Динамическая кишечная непроходимость				2				2
Пневмония		4			3			7
Сердечно-сосудистые осложнения		8			5		5	18
Другие		18		10				28
Всего	41	40	3	29	13	4	15	145 (22 %)

Таблица 6.  
Влияние стадии заболевания, возраста больного, хирургического доступа на частоту осложнений после правосторонней гемиколэктомии

Фактор риска	Кол-во пациентов	Clavien Dindo		Летальность	p
		Grade <2	Grade ≥2		
Стадия заболевания	I	155	145 (6,4 %)	2 (1,2 %)	P>0.05
	II	275	231 (16,3 %)	6 (2,1 %)	
	III	160	140 (13,7 %)	4 (2,5 %)	
	IV	55	50 (9,0 %)	3 (5,4 %)	
Возраст, лет	<50	65	60 (7,6 %)	1 (1,5 %)	P>0.05
	50–70	335	293 (12,5 %)	6 (1,7 %)	
	>70	255	225 (11,7 %)	8 (3,5 %)	
Доступ	Лап	153 (23 %)	143 (11,1 %)	2 (1,3 %)	P>0.05
	Откр	512	442 (15,0 %)	13 (2,5 %)	

Резекций сигмовидной кишки было выполнено 727. У 32 % больных операция была выполнена в виде эндоскопическом варианте. У 21 % пациентов развились осложнения, но только у 6 % больных это были осложнения Grade 3 и более. Летальность составила 1 %. Несостоятельность анастомоза развилась у 3,7 % больных. 80 % анастомозов были сформированы при помощи степле-

Таблица 7.

Влияние объема лимфодиссекции, способа формирования анастомоза на частоту осложнений после правосторонней гемиколэктомии

Фактор риска	Кол-во пациентов	Clavien Dindo		Летальность	p
		Grade <2	Grade ≥2		
D2/D3	D3	160	144 16(10 %)	4 (2,5 %)	P>0.05
	D2	505	440 61(12,0 %)	11 (2,1 %)	
Анастомоз	Ручной	215	190 25 (11,6 %) 6 leak (2,7 %)	5 (2,3 %)	P>0.05
	Степлер	450	398 52(11,5 %) 14 leak (3,1 %)	10 (2,2 %)	

ров. Но способ формирования анастомоза статистически не повлиял на частоту развития несостоятельности.

Самая часто выполняемая операция — передняя резекция прямой кишки за 5 лет была выполнена 907 раз. Осложнения развились у 33 % больных. При этом летальность составила всего 0,4 %. Несостоятельность анастомоза выявлялась у достаточно большого количества больных — почти у 14 %. При этом осложнения, требовавшие повторных вмешательств — т.е. больше, чем Grade3 — составили лишь 2,7 %. Всем пациентам в нашем отделении, которым выполняется тотальная мезоректумэктомия формируются превентивные трансверзостомы, в редких случаях — илеостомы (как правильно у тучных пациентов, а также у больных с особенностями анатомического строения брыжейки поперечной ободочной кишки). Проведен анализ эффективности факторов прогноза развития послеоперационных осложнений, несостоятельности анастомоза после передней резекции прямой кишки. Стадия заболевания, возраст больного, вариант доступа статистически значимыми критериями не являлись. Тем не менее, полученные данные свидетельствуют о том, что 3 стадия заболевания, возраст более 70 лет, открытая хирургия — неблагоприятные факторы прогноза. Статистически значимым фактором прогноза предсказуемо оказалось проведение неoadьювантной лучевой терапии, соответственно локализация опухоли в средне- и нижеампулярном отделах прямой кишки. Частота несостоятельности анастомоза составила 13 % при проведении предоперационного лечения, против 21 % при отсутствии такового. Наличие стомы не являлось статистически значимым фактором прогноза. Были проанализированы индивидуальные результаты каждого хирурга отделения. Процедура в отделении стандартизирована, статистически значимых различий в частоте осложнений в зависимости от данного критерия выявлено не было.

Таблица 8.

Структура осложнений после передней резекции прямой кишки в 2017–2021 гг.

Осложнение	Clavien Dindo							Всего
	Grade I	Grade II	Grade IIIa	Grade IIIb	Grade IVa	Grade IVb	Grade V	
ИОХВ	48	24	5	10	3	1	1	92 (10,1 %)
Несостоятельность анастомоза		101	4	14	5	1	1	126 (13,8 %)
Спаечная кишечная непроходимость		2		4				6
Пневмония		5			2			7
Атония мочевого пузыря		6	2					8
Сердечно-сосудистые осложнения		2	1		3		2	8
Повреждение мочеточника			2					2
Другие	14	12	8	12	4	3		53
Всего	48	140	22	40	17	5	4	302 (33 %)

Таблица 9.

Влияние стадии заболевания, возраста пациента, варианта хирургического доступа на частоту развития осложнений после передней резекции прямой кишки

Фактор риска	Кол-во пациентов	Clavien Dindo			Летальность Абс.	p
		Grade ≤2	Grade ≥2	Несостоятельность анастомоза		
Стадия заболевания	I	385	276	109(28,5 %)	48(12,4 %)	P>0.05
	II	287	221	66(23 %)	38(13,2 %)	
	III	195	137	58(30 %)	37(19 %)	
	IV	40	35	5(12,5 %)	3(7,5 %)	
Возраст	<50	150	116	34(23,3 %)	18(12,6 %)	P>0.05
	50–70	567	431	136(24,7 %)	79(14,0 %)	
	>70	190	126	64(34,2 %)	29(15 %)	
Доступ	Лап (13 %)	117	94	23(20 %)	16(13,6 %)	P>0.05
	Откр	790	569	221(28,7 %)	110(13,9 %)	

Таблица 10.

Влияние проведения неоадьювантной химиолучевой терапии, формирования превентивной кишечной стомы на частоту развития осложнений после передней резекции прямой кишки

Фактор риска	Кол-во пациентов	Clavien Dindo			Лет-ть	p	
		Grade <2	Grade ≥2	Несост. анастомоза			
ЛТ	СЛТ	237	176	61 (26%)	49 (18,7%)	2	P<0.05
	БЕЗ ЛТ	670	490	180 (26,9%)	87 (9%)	2	
Превентивная стома	Да	700	532	168 (24,2%)	98 (14,7%)	1	P>0.05
	Нет	207	135	72 (35,0%)	35 (17,5%)	3	

Таблица 11.

Персональные результаты хирургов отделения абдоминальной онкологии — частота осложнений после передней резекции прямой кишки

Фактор риска	Кол-во пациентов	Clavien Dindo				Летальность	p	
		Grade <2	Grade ≥2	Несостоятельность анастомоза				
				Всего	Grade 3b-4			
ХИРУРГ	1	40	5	5	2	1	0	P>0,05
	2	20	2	3	1	0	0	
	3	21	2	1	5	0	0	
	4	45	8	12	5	0	0	
	5	116	14	5	15	2	1	
	6	142	4	6	15	3	0	
	7	102	9	5	14	2	1	
	8	84	17	10	19	6	1	
	9	116	19	9	21	2	0	
	10	107	8	8	24	1	0	
	11	95	23	18	18	1	1	

Было выполнено 211 брюшно-промежностных экстирпаций прямой кишки. Данное хирургическое вмешательство выполняется в отделении в модификации Хольма, с выполнением промежностного этапа в положении пациента на животе и экстралеваторной плоскостью выделения дистального отдела прямой кишки. У 68 % пациентов абдоминальный этап был выполнен лапароскопически. Осложнения развились у 52 % пациентов, и основной группой осложнений были гной-

но-септические. Подавляющее большинство больных получили химиолучевую терапию в неоадьювантном режиме. Только 9,5 % нежелательных послеоперационных событий потребовали реинтервенции.

Обструктивные резекции прямой кишки — 430 операций. Это подгруппа больных с самой большой послеоперационной летальностью — 4,8 %. Осложнений были зарегистрированы у 36 % больных. Причем осложнения Grade ≥3 были констатированы у 21 % пациентов, когда потребовались повторные хирургические вмешательства.

Большое количество операций Гартмана привело к тому, что в отделении выполнено достаточно большое количество реконструктивно-восстановительных операций на толстой кишке. С учетом того, что формируются достаточно низкие реконструктивные колоректальные анастомозы, частота осложнений высокая, сопоставимая с таковой при передней резекции — 33 %, однако частота несостоятельности анастомоза 5,5 %. По всей видимости, связано это с тем, что при выполнении реконструктивной операции редко возникает необходимость во вмешательстве на сосудах мезоколон и коррекции кровоснабжения кишечного трансплантата. Нужно отметить, что в этой группе больных летальности не было. Как правило, анастомозы формировались степлером.

Закрытие превентивной стомы за 5 лет было выполнено 696 пациентам. В подавляющем большинстве случаев закрытию подлежала трансверзостома. Данное вмешательство является достаточно безопасной процедурой с нулевой летальностью за 5 лет.

Унивариантный анализ выявил эффективные факторы риска развития гнойно-септических послеоперационных осложнений у больных колоректальным раком. Большинство из них хорошо известны по данным литературы: мужское пол, ожирение, локализация опухоли в нижнеампулярном отделе прямой кишки, проведение неоадьювантной химиолучевой терапии, ослабленное состояние больного (гипопротеинемия, анемия).

Среди последних оказалось выявление ковид-инфекции во время госпитализации, или перенесенная тяжелая ковид-инфекция. Мы не располагаем репрезентативными данными, однако, опыт наблюдения за такими пациентами позволяет сделать предварительные выводы о более тяжелом течении гнойно-септических послеоперационных осложнений, росте количества мезентериальных тромбозов за последние 2 года в три раза. Кроме этого, примечательна тенденция к выявлению несостоятельности межкишечных анастомозов позднее 7–8 суток послеоперационного периода.

Проведено детальное изучение удаленных препаратов пациентов, оперированных по поводу несостоя-

Таблица 12.

Влияние факторов риска на развитие гнойно-септических осложнений у больных колоректальным раком

Фактор риска	B-coefficient	p	OR	95 % CI
Мужской пол	0,66	<0,001	1,934	1,72–2,18
Курение	0,198	<0,001	1,219	1,11–1,34
Индекс массы тела более 30 кг/м <sup>2</sup>	0,209	<0,001	1,233	1,13–1,35
Инфаркт миокарда в анамнезе	0,771	<0,001	2,162	1,41–3,31
Потеря веса более 10 %	0,326	0,001	1,386	1,13–1,70
Гемоглобин менее 80 г/л	0,527	0,017	1,694	1,10–2,62
Тромбоциты более 400*10 <sup>9</sup> /л	0,176	0,011	1,192	1,04–1,37
Альбумин менее 35 г/л	0,417	0,017	1,518	1,08–2,14
Высота опухоли менее 6 см от ануса	1,169	<0,001	2,312	2,16–4,80
Химиолучевая терапия в анамнезе	1,268	<0,001	3,112	2,43–9,46
Периоперационное переливание крови	0,037	0,004	1,038	1,01–1,06
Инфекция COVID19	0,402	0,017	1,418	1,07–2,13

тельности анастомоза на фоне ковид-инфекции. В своих заключениях патологи отмечали явления деструктивно-продуктивного тромбоваскулита с формирующимися тромбами различного срока давности в сочетании с периваскулярной лимфоплазмоцитарной макрофагальной инфильтрацией с геморрагическим синдромом в виде периваскулярных кровоизлияний. Таким образом, описанные нарушения микроциркуляции могут являться патогенетическим звеном развития послеоперационных гнойно-септических осложнений, в частности несостоятельности анастомоза.

### Обсуждение

Показано, что самая большая частота послеоперационных осложнений у пациентов, оперированных по поводу рака прямой кишки — более 30 %. При этом, в отделе выполняется достаточно большое количество операций Гартмана — если за 5 лет выполнено более 900 передних резекций прямой кишки, то обструктивные резекции были выполнены у 400 больных. Интересно отметить, что при выполнении передней резекции послеоперационная летальность составила только 0,4 %. Тогда как при операции Гартмана летальность составила почти 5 %. Это может говорить о том, что хирург, принимая во внимание все факторы риска неблагоприятного исхода, отказывается от формирования анастомоза, ког-

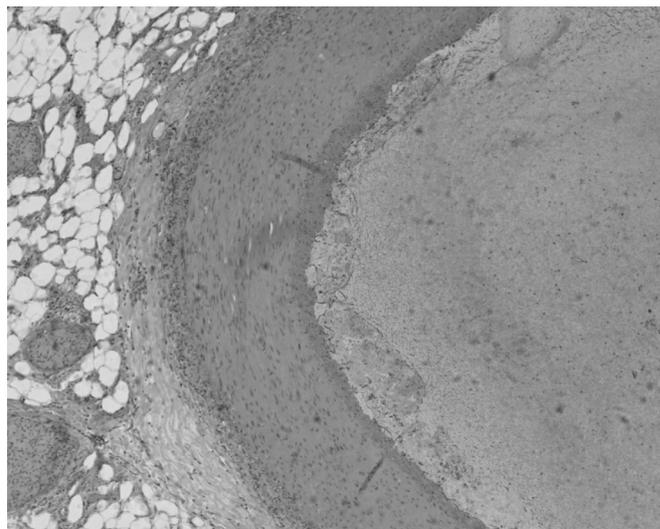


Рис. 1. Фибриновый организующийся тромб в просвете сосудов брыжейки толстой кишки, с отеком окружающих тканей, с периваскулярной и периневральной лимфо-лейкоцитарной инфильтрацией

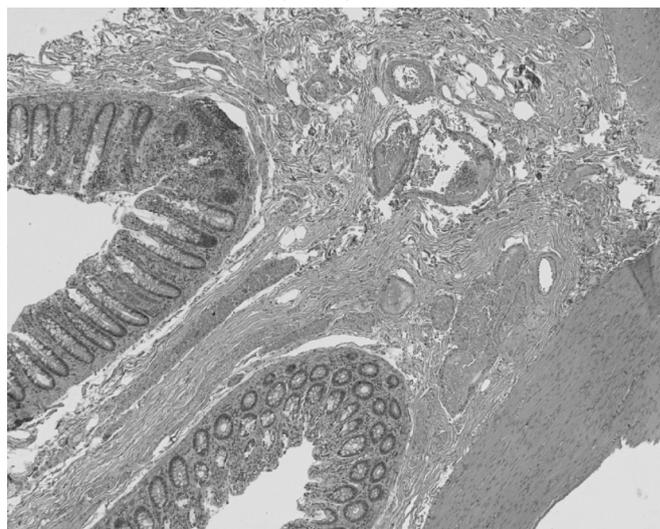


Рис. 2. Стенка толстой кишки с полнокровными сосудами, с формированием фибриноидных тромбов в части мелких сосудов, с умеренным отеком рыхлого волокнистого слоя подслизистой основы, с лимфоцитарной инфильтрацией собственной пластинки слизистой оболочки

да вероятность развития его несостоятельности достаточно велика, причем не только в тех ситуациях, когда такой вариант завершения операции показан пациенту (в случае наличия у больного явлений субкомпенсированной хронической толстокишечной непроходимости). В клинику поступает большой поток пациентов с запущенными формами рака прямой кишки, пациенты истощенные, с хронической интоксикацией на фоне кишечной непроходимости. Наверное, развитие еще и несостоятельности анастомоза в послеоперационном периоде, в дополнение к тем 30 % осложнений, которые

наблюдали у больных, которым была выполнена операция Гартмана, еще больше бы ухудшило результаты и перспективы пациентов. С другой стороны, большее количество осложнений при обструктивной резекции прямой кишки, в первую очередь гнойно-септических осложнений, может говорить о том, что это связано с самой технологией данного хирургического вмешательства. По всей видимости, проблема заключается в наличии полости, которая остается в малом тазу, и создает предпосылки для скопления жидкости, что в свою очередь может способствовать несостоятельности швов культи прямой кишки, способствовать спаечной кишечной непроходимости и т.д. Эта полость не формируется при низведении в полость таза кишечного трансплантата, особенно когда выполняется мобилизация селезеночного изгиба ободочной кишки. Бесспорно, что доля выполненных обструктивных резекций прямой кишки остается достаточно высокой. В настоящее время существует инфраструктура и хирургические опции, которые позволяют подготовить пациента к операции и сформировать ему первичный анастомоз. Развивать и обеспечивать доступность этих технологий для пациентов — одна из приоритетных задач.

Полученные данные могут свидетельствовать о том, что инфекция COVID-19 действительно усугубляет течение послеоперационного периода. Этот факт находит отражение и в литературе [7]. Выраженные нарушения микроциркуляции в области операционной травмы, а у онкологических больных еще и на фоне исходной склонности к гиперкоагуляции, могут приводить к из-

менениям, которые в свою очередь реализовываются в развитие гнойно-септических осложнений и несостоятельность анастомоза. Тот факт, что несостоятельность анастомоза может возникать позднее обычных сроков, создает определенные риски для пациентов в условиях пандемии. Ведь необходимость продолжать оказание высокотехнологичной помощи в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки заставляет искать новые подходы к организации работы. Все больше пациентов проводят в стационаре минимальные сроки благодаря выполнению малоинвазивных хирургических вмешательств и использованию протокола ускоренной реабилитации пациентов. И перспектива получить осложнения, манифестирующие позднее 8-х послеоперационных суток, требует активного мониторинга больных после выписки из клиники.

### Заключение

В высокопоточковых центрах выполняется более тысячи хирургических вмешательств у больных колоректальным раком ежегодно. Тщательная оценка периоперационных рисков, прогнозирование развития послеоперационных осложнений, может рационализировать использование ресурсов клиники, снизить летальность и количество нежелательных событий, особенно у пациентов высокого риска. Инфекция COVID-19 является значимым фактором риска послеоперационных гнойно-септических осложнений у больных колоректальным раком.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой Состояние онкологической помощи населению России в 2020 году. — М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2021. — илл. — 239 с. ISBN 978-5-85502-262-9
2. Dekker E, Tanis PJ, Vleugels JLA, Kasi PM, Wallace MB. Colorectal cancer. *Lancet*. 2019;394(10207):1467–1480. doi:10.1016/S0140-6736(19)32319-0
3. Biller LH, Schrag D. Diagnosis and Treatment of Metastatic Colorectal Cancer: A Review. *JAMA*. 2021;325(7):669–685. doi:10.1001/jama.2021.0106
4. Xu Z, Qu H, Kanani G, Guo Z, Ren Y, Chen X. Update on risk factors of surgical site infection in colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis. *Int J Colorectal Dis*. 2020;35(12):2147–2156. doi:10.1007/s00384-020-03706-8
5. Foppa C, Ng SC, Montorsi M, Spinelli A. Anastomotic leak in colorectal cancer patients: New insights and perspectives. *Eur J Surg Oncol*. 2020;46(6):943–954. doi:10.1016/j.ejso.2020.02.027
6. Karim A, Cubas V, Zaman S, Khan S, Patel H, Waterland P. Anastomotic leak and cancer-specific outcomes after curative rectal cancer surgery: a systematic review and meta-analysis. *Tech Coloproctol*. 2020;24(6):513–525. doi:10.1007/s10151-020-02153-5
7. Buso G, Becchetti C, Berzigotti A. Acute splanchnic vein thrombosis in patients with COVID-19: A systematic review. *Dig Liver Dis*. 2021;53(8):937–949. doi:10.1016/j.dld.2021.05.021

© Каганов Олег Игоревич (okaganov@yandex.ru); Фролов Сергей Александрович (frol\_ser@mail.ru);  
Козлов Алексей Михайлович (amihalu4@gmail.com); Швец Денис Сергеевич (shvetsdenis@rambler.ru);  
Блинов Никита Вячеславович (blinovnv@samaraonko.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ДИАГНОСТИКА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ У БЕРЕМЕННЫХ

## DIAGNOSIS OF THE PSYCHOEMOTIONAL STATE IN PREGNANT WOMEN

**L. Keshchyan**  
**N. Lyalichkina**  
**E. Iksanova**

*Summary.* Pregnancy is a critical transition period in a woman's life, during which her consciousness and relationships with the world are significantly rebuilt. According to research conducted over the past decade, both in Western countries and in Russia, from 15 to 95% of pregnant women experience stress and psycho-emotional disorders of varying severity. During pregnancy, a woman is influenced by many factors, among which are metabolic and social stressors, family problems, personal anxiety, which can be combined with each other, but only the attitude of the pregnant woman herself to these stimuli leads to a state of imbalance. Over the past couple of decades, the importance of universal screening and active management of perinatal mood and anxiety disorders has been emphasized in Western countries. To diagnose a psychoemotional state during pregnancy, researchers most often use a questionnaire. Improving detection methods.

*Keywords:* psychoemotional state, pregnant women, perinatal anxiety and depression, social factors.

**Кещян Людмила Викторовна**

кандидат медицинских наук, главный врач,  
Государственное бюджетное учреждение  
здравоохранения Московской области

«Наро-Фоминский перинатальный центр»;

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Российский национальный исследовательский  
медицинский университет имени Н.И. Пирогова»

Министерства здравоохранения Российской Федерации  
mz\_nfpc\_info@mosreg.ru

**Ляличкина Наталья Александровна**

доктор медицинских наук, руководитель симуляционно-  
тренингового центра, Государственное бюджетное  
учреждение здравоохранения Московской области

«Наро-Фоминский перинатальный центр»

Cord-an@yandex.ru

**Иксанова Евгения Замировна**

заместитель главного врача по акушерско-  
гинекологической помощи, Государственное бюджетное  
учреждение здравоохранения Московской области

«Наро-Фоминский перинатальный центр»

iksanovaez@mosreg.ru

*Аннотация.* Беременность — критический переходный период в жизни женщины, в ходе которого существенно перестраивается ее сознание и взаимоотношения с миром. По данным исследований, проведенных в течение последнего десятилетия, как в западных странах, так и в России от 15 до 95 % беременных женщин испытывают стресс и психоэмоциональные расстройства различной степени выраженности. Во время беременности женщина подвержена влиянию множества факторов, среди которых можно выделить метаболические и социальные стрессоры, семейные проблемы, личностную тревожность, которые могут сочетаться между собой, однако только отношение самой беременной к этим раздражителям приводит к состоянию дисбаланса. За последние пару десятилетий в западных странах подчеркивается важность всеобщего скрининга и активного ведения перинатальных расстройств настроения и тревоги. Для диагностики психоэмоционального состояния во время беременности чаще всего исследователи используют анкетирование. Совершенствование методов выявления нарушений психоэмоциональной сферы у женщин в перинатальном периоде позволит специалистам своевременно оказывать необходимую комплексную медицинскую и психологическую помощь данному контингенту пациенток.

*Ключевые слова:* психоэмоциональное состояние, беременные женщины, перинатальная тревога и депрессия, социальные факторы.

Последнее десятилетие ознаменовалось повышенным интересом исследователей к психологическому состоянию матерей, причем фокус сместился с пуэрперия на перинатальный период. В настоящее время большая доля женщин, примерно 20–25 %, страдают от тревожности во время перехода к родительству [1]. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), существует повышенный риск развития депрессии у беременных женщин, страдающих тревожностью [2].

Sinaci S et al., [3], проанализировав исследования посвященные вопросу перинатальной тревожности, опубликованные в период с 2001 по 2020 год, установил, что более половины из них (59 %) были опубликованы в 2015–2020 годах, что несомненно свидетельствует о растущем внимании к данной проблеме.

Испания, Италия и Соединенное Королевство — европейские страны, которые провели больше всего исследований по этому вопросу. Самый низкий уровень распространенности тревожности был обнаружен в Польше (7,7 %), а самый высокий — в Италии (36,5 %). Распространенность генерализованного тревожного расстройства колеблется от 0,3 % до 10,8 % [4].

C. Langille et al., 2023 [5], описывая распространенность перинатальной тревожности у беременных женщин, продемонстрировал, что состояния психического здоровья являются важными переменными, которые следует учитывать во время дородовых визитов, и что для определения этих состояний необходимы специальные шкалы, т.к. скрининг может улучшать результаты для здоровья матерей и младенцев. Однако, немногие медицинские работники регулярно проводят скрининг на пренатальный психологический стресс [6]. В медицинском сообществе до настоящего времени сохраняется недостаток информации о диагностике перинатальной тревожности и отсутствует единообразие в обучении по вопросам такого скрининга [7].

В настоящее время не существует специализированных шкал тревоги, связанной с беременностью, с обоснованными теоретическими и психометрическими характеристиками. Клиническая необходимость в такой шкале подчеркивается потенциальными возможностями вмешательства, которые это может предоставить [8].

Высококачественные системы наблюдения за беременными должны развивать потенциал для оценки риска депрессии и тревоги и их лечения [9].

*Цель исследования:* на основании анкетирования и определения маркеров стресса определить психоэмоциональное состояние беременных женщин высокого и низкого перинатального риска.

### Материал и методы исследования

Нами были проведено тестирование 120 беременных в сроке 34 недели, из которых 51 — составили группу низкого перинатального риска, 69 — высокого перинатального риска. С целью оценки психологического состояния пациенток были использованы тест отношения к беременности Добрякова, шкала депрессии Бека, госпитальная шкала тревоги и депрессии (HADS). Обработка результатов проводилась с использованием программы Microsoft Excel.

### Результаты исследования

При анализе табл. 1 обращает на себя внимание, что в группе высокого риска большинство пациенток были в возрасте 30 и более лет. По семейному положению и месту жительства обе группы были сопоставимы. А вот при анализе занятости пациенток установлено, что в группе низкого риска не работали 35,3 % женщин, а в группе высокого риска только 4,3 %.

Таблица 1.

Социальные факторы

Показатель	Группа низкого риска n=51		Группа высокого риска n=69	
	абс	отн (%)	абс	отн (%)
<b>Семейное положение</b>				
Замужем	45	88,2	57	82,6
Не замужем	6	11,8	12	17,4
<b>Профессия</b>				
Домохозяйка	18	35,3	3	4,3
Служащие	33	64,7	63	91,4
Рабочие			3	4,3
<b>Место жительства</b>				
Село	13	25,5	27	39,1
Город	38	74,5	42	60,9
<b>Жилищные условия</b>				
Хорошие	3	6,9	14	20,3
Удовлетворительные	20	39,2	32	46,4
Съемное/служебное жилье			6	8,7
Без ответа	28	54,9	17	24,6
<b>Материальное положение</b>				
До 50 тыс. рублей			17	24,6
Более 50 тыс. рублей	30	58,8	29	42,1
Малоимущие			7	10,1
Без ответа	21	40,2	16	23,2

Закономерно обращает на себя внимание, что в группе высокого риска большинство пациенток были в возрасте 30 и более лет.

По семейному положению и месту жительства обе группы были сопоставимы. Среди женщин, давших ответ о своем материальном положении, 10,1 % пациенток группы высокого риска назвали себя малоимущими, а 24,6 % — указали совокупный семейный доход ниже 50 тысяч рублей. Большинство респонденток, оценили свои жилищные условия как удовлетворительные и хорошие, но 8,7 % женщин высокой группы имели съемное или служебное жилье. И около половины женщин низкой группы отказались отвечать на вопрос о материально-бытовых условиях.

Как видно из таблицы 2, у беременных низкого риска в большинстве случаев предстоящие роды были первыми и вторыми, в группе высокого риска — первыми и третьими.

Таблица 2.

Паритет родов

Показатель	Группа низкого риска n=51		Группа высокого риска n=69	
	абс	отн (%)	абс	отн (%)
1 роды	27	52,9	29	42,1
2 роды	14	20,3	9	13,0
3 роды	6	11,7	25	36,2
4 роды	4	7,8	6	8,7

По результатам анкетирования (табл. 3) удалось установить, что в подавляющем большинстве случаев у наших пациенток были сформированы положительные типы гестационной доминанты — оптимальный и эйфорический, и только у 10,1 % женщин группы высокого риска — это именно те пациентки, которые указали себя малоимущими — сформировался эйфорически-гипогестозический тип.

При оценке депрессии в группе высокого риска мы получили сопоставимые результаты при использовании обеих шкал, а в группе низкого риска депрессия различной степени выраженности в 2 раза чаще была диагностирована по шкале Бека. Уровень тревоги практически не отличался в обеих группах.

Таблица 3.

Результаты тестирования

Показатель	Группа низкого риска n=51		Группа высокого риска n=69	
	абс	отн (%)	абс	отн (%)
<b>Тест отношения к беременности Добрякова</b>				
Оптимальный тип	35	68,6	42	60,9
Эйфорический тип	16	31,4	20	29,0
Эйфорически-гипогестозический тип			7	10,1
<b>Шкала депрессии Бека</b>				
Нормальное состояние	30	58,8	47	68,1
От легкой до умеренной депрессии	14	27,5	18	26,1
Выраженная депрессия	7	13,7	4	6,8
<b>Госпитальная шкала депрессии и тревоги (HADS)</b>				
<i>Депрессия</i>				
Норма	42	82,4	44	63,8
Субклинически выраженная депрессия	9	17,6	15	21,7
Клинически выраженная депрессия			10	14,5
<i>Тревога</i>				
Норма	32	62,7	54	78,3
Субклинически выраженная тревога	7	13,7	7	10,1
Клинически выраженная тревога	12	23,6	8	11,6

Таким образом, полученные с помощью анкетирования данные свидетельствуют о том, что около 40 % женщин в исследовании имели высокую вероятность наличия депрессии и тревожных расстройств. Однако, нам не удалось выявить достоверной связи между социальными факторами психоэмоциональным состоянием у беременных, что безусловно требует проведения дополнительных исследований. Полученные результаты исследования важно учитывать при наблюдении беременных в амбулаторно-поликлиническом звене и разработке междисциплинарного алгоритма сотрудничества акушеров-гинекологов, клинических и перинатальных психологов и социальных работников.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Hamdamian S., Nazarpour S., Simbar M., Hajian S., Mojab F., Talebi A. Effects of aromatherapy with *Rosa damascena* on nulliparous women's pain and anxiety of labor during first stage of labor *J. Integr. Med.* (2018), 10.1016/j.joim.2018.02.005
2. Sainz K.G., Chávez B.E., Díaz M.E., Sandoval M.A., Robles M.A. Ansiedad y depresión en pacientes embarazadas *Atención Fam.*, 20 (1) (2013), pp. 25–27.
3. Sinaci S, Ozden Tokalioglu E, Ocal D, Atalay A, Yilmaz G, Keskin HL, Erdinc SO, Sahin D, Moraloglu Tekin O. Does having a high-risk pregnancy influence anxiety level during the COVID-19 pandemic? *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol.* 2020
4. Blackmore ER, Gustafsson H, Gilchrist M, Wyman C, G O'Connor T. Pregnancy-related anxiety: Evidence of distinct clinical significance from a prospective longitudinal study. *J Affect Disord.* 2016 Jun;197:251-8. doi: 10.1016/j.jad.2016.03.008. Epub 2016 Mar 8. PMID: 26999549; PMCID: PMC4837058.
5. Langille C, Andreou P, Piccinini-Vallis H. The Prevalence of Pregnancy-Specific Perinatal Anxiety in Nova Scotia. *Matern Child Health J.* 2023 Jul;27(7):1127–1132. doi: 10.1007/s10995-023-03639-y. Epub 2023 Apr 2. PMID: 37005936; PMCID: PMC10067513.
6. Bright KS, Mughal MK, Wajid A, Lane-Smith M, Murray L, Roy N, Van Zanten SV, Mcneil DA, Stuart S, Kingston D. Internet-based interpersonal psychotherapy for stress, anxiety, and depression in prenatal women: study protocol for a pilot randomized controlled trial. *Trials.* 2019 Dec 30;20(1):814. doi: 10.1186/s13063-019-3897-z. PMID: 31888712; PMCID: PMC6938015.
7. Brunton RJ, Dryer R, Saliba A, Kohlhoff J. Pregnancy anxiety: A systematic review of current scales. *J Affect Disord.* 2015 May 1;176:24–34. doi: 10.1016/j.jad.2015.01.039. Epub 2015 Jan 28. PMID: 25687280.
8. Bhat A, Nanda A, Murphy L, Ball AL, Fortney J, Katon J. A systematic review of screening for perinatal depression and anxiety in community-based settings. *Arch Womens Ment Health.* 2022 Feb;25(1):33–49. doi: 10.1007/s00737-021-01151-2. Epub 2021 Jul 11. PMID: 34247269.
9. Accortt EE, Wong MS. It Is Time for Routine Screening for Perinatal Mood and Anxiety Disorders in Obstetrics and Gynecology Settings. *Obstet Gynecol Surv.* 2017 Sep;72(9):553–568. doi: 10.1097/OGX.0000000000000477. PMID: 28905985.

© Кещьян Людмила Викторовна (mz\_nfrs\_info@mosreg.ru); Ляличкина Наталья Александровна (Cord-an@yandex.ru);

Иксанова Евгения Замировна (iksanovaez@mosreg.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

## ОСОБЕННОСТИ ОБЕЗБОЛИВАНИЯ РОДОВ У ЖЕНЩИН, ПРОШЕДШИХ ПРОГРАММУ «ОСОЗНАННОЕ МАТЕРИНСТВО»

### FEATURES OF PAIN RELIEF OF CHILDBIRTH IN WOMEN WHO HAVE COMPLETED THE PROGRAM «CONSCIOUS MOTHERHOOD»

**L. Keshchyan  
N. Lyalichkina  
A. Egorov**

*Summary.* The elimination of pain in childbirth is one of the most pressing problems in medicine. The connection of painful sensations with the emotions and experiences of a woman is also of interest. Therefore, the preparation for childbirth contributes to the safe course of labor and the reduction of adverse outcomes. The purpose of our study was to assess the impact of the «Conscious Motherhood» program on the use of epidural anesthesia during childbirth and the course of childbirth. 206 pregnant women at the age of 34 weeks were examined and distributed by simple randomization into 2 groups: the main group consisted of 109 pregnant women who completed the course «Conscious motherhood», the comparison group included 97 pregnant women who did not undergo prenatal training in the course «Conscious Motherhood». There was a significant (3-fold) decrease in the number of surgical deliveries, both abdominal and vaginal, and the absence of hospitalizations of children to the intensive care unit in the group who attended classes under the program «Conscious Motherhood».

*Keywords:* prenatal preparation, epidural anesthesia, pregnancy, delivery, epidural anesthesia.

**Кещян Людмила Викторовна**

кандидат медицинских наук, главный врач,  
Государственное бюджетное учреждение  
здравоохранения Московской области

«Наро-Фоминский перинатальный центр»;

Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение высшего образования

«Российский национальный исследовательский

медицинский университет имени Н.И. Пирогова»

Министерства здравоохранения Российской Федерации

*tz\_nfpc\_info@mosreg.ru*

**Ляличкина Наталья Александровна**

доктор медицинских наук, руководитель симуляционно-

тренингового центра, Государственное бюджетное

учреждение здравоохранения Московской области

«Наро-Фоминский перинатальный центр»

*Cord-an@yandex.ru*

**Егоров Артем Анатольевич**

заведующий отделением анестезиологии-

реаниматологии для женщин, Государственное

бюджетное учреждение здравоохранения Московской

области «Наро-Фоминский перинатальный центр»

*egorov.a@mosreg.ru*

*Аннотация.* Устранение боли в родах является одной из самых актуальных проблем в медицине. Также представляет интерес связь болезненных ощущений с эмоциями и переживаниями женщины. Поэтому проведение подготовки к родам способствует благополучному течению родов и уменьшению неблагоприятных исходов. Целью нашего исследования являлась оценка влияния программы «Осознанное материнство» на использование эпидуральной анестезии во время родов и течение родов. Были обследованы 206 беременных в сроке 34 недели были распределены методом простой рандомизации на 2 группы: основную группу составили 109 беременных женщин, прошедших курс «Осознанное материнство», в группу сравнения вошли 97 беременных, не проходивших предродовую подготовку по курсу «Осознанное материнство». Отмечалось достоверное (в 3 раза) снижение числа оперативного родоразрешения как абдоминального, так и влагалищного и отсутствие госпитализаций детей в отделение интенсивной терапии в группе, посещавших занятия по программе «Осознанное материнство».

*Ключевые слова:* предродовая подготовка, эпидуральная анестезия, беременность, родоразрешение.

**Д**о 25–30 % женщин характеризуют родовую боль как сильную и чрезмерную. Однако в доступности и использовании эпидуральной анальгезии (ЭДА) существуют различия, как в разных больницах одной страны, так и между разными странами. Частота использования зависит, во-первых, от воспитания и культуры общества, влияния психосоциальных факторов на боль

в родах. Немаловажным фактором оказалась «парадигма обезболивания» в странах с высоким уровнем дохода [1, 2]. Общеизвестно, что профессиональные медики в большей степени ратуют за фармакологическое обезболивание, и чаще соглашаются друг с другом по поводу обезболивания, чем с пациентками [3]. А беременные тем временем в 23 % случаев испытывают страх

перед родами, в 20 % — боятся болезненных схваток и в 46 % — осложнений анестезии. Еще они хотят получить непрерывное присутствие акушерки во время родов и иметь взаимопонимание с медперсоналом [4, 5].

В Японском исследовании E. Shishido et al. в 2023 году при оценке валидности и соответствия пособия для принятия решений о возможности женщин выбирать между родами с эпидуральной анестезией или без нее, оказалось, что беременные хотят знать о влиянии анестезии на ребенка, на течение родов, стоимость анестезии, опыт других женщин, качество ЭДА, возможности кесарева сечения с ЭДА и об учреждении, где планируется анестезия. Однако доступную информацию они собирают прежде всего из интернета и друзей и знакомых [6].

В исследовании, проведенном в Бельгии в 2023 году L. Van Leugenhaege et al. показано, что намерение провести ЭДА придает беременной чувство большей уверенности в себе, снимая беспокойство по поводу родов, а пациентки, планирующие присутствие партнера на родах, не планируют использование ЭДА [7].

В результате опроса акушерок в 2020 году в 3 центрах в Норвегии оказалось, что и профессионалы считают, что ЭДА часто использовалась в качестве замены постоянной поддержки, когда акушерское отделение было занято [8].

В Финляндии в 2012–2018 годах было проведено ретроспективное когортное исследование, опубликованное в 2022 году J. Joensuu et al. Оказалось, что эффекты эпидуральной анестезии или немедикаментозного обезболивания не влияли на вероятность негативного опыта родов у первородящих; шансы на благополучные роды снижались как для первородящих, так и для повторнородящих, если роженицы использовали какие-либо медицинские обезболивающие средства; влияние обезболивания на опыт родов сильно зависит от показателей [9].

В Кохрейновском обзоре 2018 года с использованием 40 рандомизированных контролируемых исследований при сравнении ЭДА с другими видами обезболивания авторы не нашли достоверной разницы между ЭДА и непрерывной поддержкой в родах [10].

В 2018 году L. Roggi et al. на основании анкетирования 98 беременных в сроке 36 недель установил, что планирование ЭДА было независимым предиктором как страха перед родами, так и токофобии [11].

Открытое слепое рандомизированное контролируемое исследование 2 государственных больниц в Сиднее, проведенное K.M. Levett et al. показало, что двухдневная программа дородового обучения привела

к снижению частоты ЭДА и продолжительности родов в 3 раза, а частоты кесарева сечения и реанимации новорожденного в 2 раза, что позволило авторам считать, что просвещение родителей может стать эффективным дополнением к дородовому образованию [12].

Оптимальный опыт родов достигается, когда неосложненное течение родов сочетается с достаточным обезболиванием в соответствии с пожеланиями роженицы.

*Цель исследования:* оценить влияние программы «Осознанное материнство» на использование ЭДА во время родов и течение родов.

### Материал и методы исследования

206 беременных в сроке 34 недели были распределены методом простой рандомизации на 2 группы: основную группу составили 109 беременных женщин, прошедших курс «Осознанное материнство», в группу сравнения вошли 97 беременных, не проходивших предродовую подготовку по курсу «Осознанное материнство».

Обе группы были однородны по возрасту, семейному положению и осложнениям беременности. При оценке социальных факторов обе группы оказались сопоставимы, однако в группе сравнения домохозяйек (неработающих женщин) оказалось в 2 раза больше, чем в основной группе: 24,7 % пациенток в группе сравнения против 10,1 % в основной группе. Подавляющее большинство женщин в обеих группах были городскими жительницами с доходом более 50 тыс. рублей. Более 80 % пациенток в обеих группах были замужем. В группе сравнения первородящих было 56 %, тогда как в основной группе только 46 %. в основной группе более половины пациенток (63 %) имели нарушение жирового обмена.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы Microsoft Excel 11. При нормальном распределении описание проводилось с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (m). При сравнении двух групп по количественному показателю, имевшему нормальное распределение (при равенстве дисперсий), был использован t-критерий Стьюдента.

### Результаты исследования

При анализе течения родов (табл. 1) оказалось, что у пациенток основной группы в 1,5 раза чаще обезболивание проводилось с использованием ЭДА: 53,2 % женщин основной группы выбрали эпидуральную анестезию в качестве обезболивания родов, тогда как в группе сравнения таких пациенток оказалось только 37,1 %. При этом у них была выявлена тенденция к более

позднему началу анестезии. Такой осознанный выбор обезболивания связан, на наш взгляд, с разъяснениями, касающимися методов анальгезии родов, которые получают женщины от профессионалов (врачей-анестезиологов) при занятиях на курсе. Длительность родов по периодам достоверно не отличалась в обеих группах.

Экстренное кесарево сечение проведено в 9 % в основной группе и в 37 % в группе сравнения. Оперативное влагалищное родоразрешение с применением вакуум-экстрактора произошло только у 3 (3,1 %) пациенток группы сравнения.

Таблица 1.

Особенности родов в обследованных группах

Показатель	«Осознанное материнство» n=109	Группа сравнения n=97	Досто- верность
Открытие маточного зева перед ЭДА, см (M±m)	6,30±0,63	4,06±1,14	p=0.085
Длительность ЭА, мин (M±m)	153,03±46,18	257,87±94,17	p=0.318
1 период родов, мин (M±m)	375,20±117,12	362,16±123,93	p>0,05
2 период родов, мин (M±m)	18,12±6,22	19,06±6,74	p>0,05
3 период родов, мин (M±m)	6,45±2,32	6,47±2,44	p>0,05

Показатель	«Осознанное материнство» n=109	Группа сравнения n=97	Досто- верность
Экстренное кесарево сечение, абс./отн	10/9,2%	34/37,1%	p<0,001
Вакуум-экстракция плода, абс./отн	0	3/3,1	p<0,001

Оценка по шкале Апгар достоверно не отличалась в обеих группах, однако в группе сравнения оценку менее 7 баллов имели 2 ребенка на первой минуте и 1 ребенок на 5 минуте. В госпитализации в ОРИТН нуждались 3 ребенка из группы сравнения.

Таблица 2.

Состояние новорожденных

Показатель	«Осознанное материнство» n=109	Группа сравнения n=97
Масса тела, г (M±m)	3563,18±475,68	3544,03±478,56
Оценка по шкале Апгар, 1 минута (M±m)	7,65±0,79	7,63±0,79
Оценка по шкале Апгар, 5 минута (M±m)	8,45±0,67	8,41±0,69
Госпитализация в ОРИТН, абс./отн.	0	3/3,1

Аномалии родовой деятельности, родостимуляция окситоцином и гематометра в послеродовом периоде встречались только в группе сравнения. Однако, в ос-

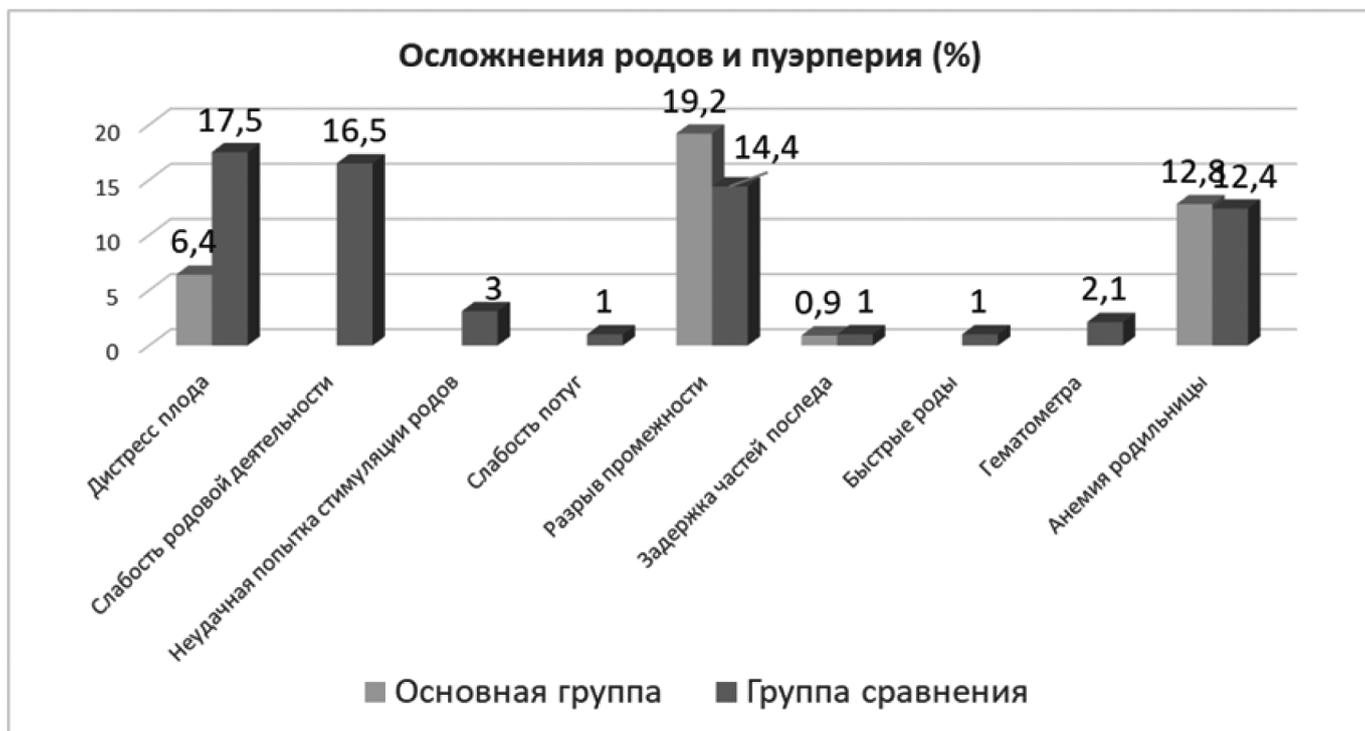


Рис. 1. Осложнения родов и пуэрперия

новой группе, несколько чаще происходили разрывы промежности 1 степени.

Таким образом, на основании проведенного исследования мы пришли к следующим выводам:

1. Произошло увеличение в 1,5 раза частоты использования эпидуральной анестезии в группе, прошедшей подготовку по программе «Осознанное материнство»
2. Сформировалась тенденция к более позднему использованию эпидуральной анестезии в первом периоде родов и укорочению времени ее использования в основной группе.
3. В основной группе отсутствовали аномалии родовой деятельности.
4. Отмечалось достоверное (в 3 раза) снижение числа оперативного родоразрешения как абдо-

минального, так и влагалищного, в группе, посещавших занятия по программе «Осознанное материнство».

5. Госпитализации детей в ОРИТН в основной группе не было.
6. Не выявлено достоверных различий в формировании послеродовых осложнений и оценке по шкале Апгар между выявленными группами.

Переориентация дородового образования и популяризация родов как нормального физиологического события, проведение занятий по предродовой подготовке с привлечением врачей, участвующих в оказании помощи в родах, имеет решающее значение в благоприятном исходе родов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Leap N., Dodwell N.C.T., Newburn M. Working with pain in labour //An overview of evidence. *New Digest*. — 2010. — Т. 49. — С. 22–25.
2. Mestrovic AH, Bilić M, Loncar LB, Micković V, Loncar Z. Psychological Factors in Experience of Pain During Childbirth. *Coll Antropol*. 2015 Sep;39(3):557–65. PMID: 26898050.
3. Chamberlain G, Wraight A, Steer P editors. Pain and its relief in childbirth: the results of the national survey conducted by the National Birthday Trust. Edinburgh: Churchill Livingstone; 1993.
4. Toledo P, Sun J, Peralta F, Grobman WA, Wong CA, Hasnain-Wynia R. A qualitative analysis of parturients' perspectives on neuraxial labor analgesia. *Int J Obstet Anesth*. 2013 Apr;22(2):119–23. doi: 10.1016/j.ijoa.2012.11.003. Epub 2013 Feb 23. PMID: 23462298.
5. Hatem M, Sandall J, Devane D, Soltani H, and Gates S. Midwife-led versus other models of care for childbearing women. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2008, issue 4. Art. No.: CD004667. DOI: 10.1002/14651858.CD004667.pub2.
6. Shishido E, Arabiki Y, Horiuchi S. Updated Decision Aid Enabling Women to Choose between with or without Epidural Analgesia during Childbirth, and Confirmation of Validity. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jun 2;20(11):6042. doi: 10.3390/ijerph20116042. PMID: 37297645; PMCID: PMC10252821.
7. Van Leugenhaege L, Degraeve J, Jacquemyn Y, Mestdagh E, Kuipers YJ. Factors associated with the intention of pregnant women to give birth with epidural analgesia: a cross-sectional study. *BMC Pregnancy Childbirth*. 2023 Aug 22;23(1):598. doi: 10.1186/s12884-023-05887-w. PMID: 37608256; PMCID: PMC10463581.
8. Aune I, Brøtmet S, Grytskog KH, Sperstad EB. Epidurals during normal labour and birth — Midwives' attitudes and experiences. *Women Birth*. 2021 Jul;34(4):e384–e389. doi: 10.1016/j.wombi.2020.08.001. Epub 2020 Aug 23. PMID: 32843237.
9. Joensuu J, Saarijärvi H, Rouhe H, Gissler M, Ulander VM, Heinonen S, Torkki P, Mikkola T. Maternal childbirth experience and pain relief methods: a retrospective 7-year cohort study of 85 488 parturients in Finland. *BMJ Open*. 2022 May 9;12(5):e061186. doi: 10.1136/bmjopen-2022-061186. PMID: 35534068; PMCID: PMC9086622.
10. Anim-Somuah M, Smyth RMD, Cyna AM, Cuthbert A. Epidural versus non-epidural or no analgesia for pain management in labour. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2018, Issue 5. Art. No.: CD000331. DOI: 10.1002/14651858.CD000331.pub4.
11. Poggi L, Goutaudier N, Séjourné N, Chabrol H. When Fear of Childbirth is Pathological: The Fear Continuum. *Matern Child Health J*. 2018 May;22(5):772–778. doi: 10.1007/s10995-018-2447-8. PMID: 29484511.
12. Levett KM, Smith CA, Bensoussan A, Dahlen HG. Complementary therapies for labour and birth study: a randomised controlled trial of antenatal integrative medicine for pain management in labour. *BMJ Open*. 2016 Jul 12;6(7):e010691. doi: 10.1136/bmjopen-2015-010691. Erratum in: *BMJ Open*. 2016 Nov 10;6(11):e010691corr1. PMID: 27406639; PMCID: PMC4947718.

© Кещьян Людмила Викторовна (mz\_nfpc\_info@mosreg.ru); Ляличкина Наталья Александровна (Cord-an@yandex.ru);

Егоров Артем Анатольевич (egorov.a@mosreg.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ИЗМЕНЕНИЯ БИОРИТМОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОБАХ У ПАЦИЕНТОВ СО СТЕНОЗОМ ПОЗВОНОЧНОГО КАНАЛА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА

## CHANGES IN BRAIN BIORHYTHMS DURING FUNCTIONAL TESTS IN PATIENTS WITH CERVICAL SPINAL CANAL STENOSIS

**I. Kinash  
T. Verkhovina  
E. Ippolitova  
E. Tsyslyak**

**Summary.** To study the biopotentials of the brain, an analysis of electroencephalograms (EEG) was carried out in 47 patients (31 men, 16 women) aged 30–42 years with spinal stenosis (M.48.0). All patients had complaints of cervicalgia, brachialgia, cranialgia of a prolonged nature, difficult to treat.

Evaluate the use of electroencephalography (EEG) to study the functional state of the cerebral cortex in patients with cervical spinal stenosis.

Registration of EEG parameters was carried out according to standard methods. The diagnosis of spinal stenosis (M.48.0) was made on the basis of a clinical and instrumental examination of patients and radiography of the cervical spine; computed tomography (CT); magnetic resonance imaging (MRI), electroneuromyography (ENMG).

When conducting a background EEG recording in the group of subjects, changes in indicators were found indicating the presence of desynchronization of biorhythms. Under functional loads in the form of hyperventilation and photostimulation, more serious changes in the amplitude–frequency characteristics of EEG biorhythms were recorded: changes in the alpha activity of the visual zone of the occipital cortex, motor zone, central gyri, frontal regions; an increase in the amplitude of the beta rhythm in the fronto-central leads; the presence of slow activity — low-frequency with low amplitude delta rhythm in the anterior areas of the brain and low-frequency with high amplitude in the parieto-occipital areas.

The data obtained indicate the formation of a pathological process, possibly caused by hypoxia and dyscirculatory disorders in the cerebrospinal fluid and circulatory system. Registration of theta rhythm with high frequency and amplitude, with a predominance in the frontal-central-parietal areas, as a result of weakening the inhibitory effects of the cortex on the mesodiencephalic structures responsible for the regulation of functions such as sleep, behavior, aggression or depression, changes in cognitive functions.

**Keywords:** electroencephalogram, brain biopotentials, stenosis.

**Кинаш Ирина Николаевна**

Кандидат биологических наук, научный сотрудник  
НКО «Нейрохирургии» ФГБНУ «Иркутский научный центр  
хирургии и травматологии»  
kinash60@mail.ru

**Верховина Татьяна Константиновна**

Доцент, Иркутская государственная медицинская  
академия последипломного образования —  
филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия  
непрерывного профессионального образования»  
Минздрава  
tkverhovina@gmail.com

**Ипполитова Елена Геннадьевна**

Научный сотрудник НКО «Нейрохирургии»  
ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии  
и травматологии»  
elenaippolitova@mail.ru

**Цысляк Елена Сергеевна**

Научный сотрудник НКО «Нейрохирургии»  
ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии  
и травматологии»  
helenasergeevna@mail.ru

**Аннотация.** Для изучения биопотенциалов головного мозга, проведен анализ электроэнцефалограмм (ЭЭГ) у 47 пациентов (31 мужчины, 16 женщин) в возрасте 30–42 лет со спинальным стенозом (M.48.0). Все пациенты имели жалобы на цервикалгии, брахиалгии, краниалгии затяжного характера, плохо поддающиеся лечению. Планировалось оценить использование электроэнцефалографии (ЭЭГ) для изучения функционального состояния отделов коры головного мозга у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника.

Регистрация показателей ЭЭГ проводилась по стандартной методике. Диагноз спинального стеноза (M.48.0) был поставлен на основании клинко-инструментального обследования пациентов и рентгенографии шейного отдела позвоночника; компьютерной томографии (КТ); магнитно-резонансной томографии (МРТ), электронейромиографии (ЭНМГ).

При проведении фоновой записи ЭЭГ в группе обследованных обнаружены изменения показателей, указывающие на наличие десинхронизации биоритмов. При функциональных нагрузках в виде гипervентиляции, фотостимуляции были зарегистрированы более серьезные изменения амплитудно-частотных характеристик биоритмов ЭЭГ: изменение альфа-активности зрительной зоны коры затылочных областей, моторной зоны, области центральных извилин, лобных областей; увеличение амплитуды бета-ритма в лобно-центральных отведениях; наличие медленной активности — низкочастотного с низкой амплитудой дельта-ритма в передних областях мозга и низкочастотного с высокой амплитудой в теменно-затылочных областях.

Полученные данные говорят о формировании патологического процесса, возможно обусловленного гипоксией и дисциркуляторными расстройствами в системе ликворообращения и кровообращения. Регистрация тета-ритма с высокой частотой и амплитудой, с преобладанием в лобно-центрально-теменных областях, как следствие ослабления тормозных влияний коры на мезодиеэнцефальные структуры, отвечающие за регуляцию таких функций как сон, поведение, агрессию или депрессивное состояние, изменение когнитивных функций.

**Ключевые слова:** электронейромиография, биопотенциалы мозга, стеноз.

## Введение

**И**зменение параметров межпозвоночных отверстий или позвоночного канала на диаметральном срезе в результате чего происходит сдавление его субстанции, подразумевает наличие стеноза. Ранние стадии стенотических изменений могут протекать бессимптомно. Позднее постепенно развивается и усиливается болевой синдром (краниалгия, брахиалгия, цервикалгия), который может быть односторонним или двусторонним. Болевой синдром часто носит затяжной характер и с трудностью подлежит купированию.

Наличие длительно существующего болевого синдрома у пациентов со стенотическими изменениями позвоночника в большинстве случаев приводит к снижению трудоспособности, качества жизни, появлению хронического эмоционального напряжения, вызывает устойчивое депрессивное состояние [1,2].

Сужение позвоночного канала в шейном отделе позвоночника создает условия для нарушения кровообращения в бассейнах как позвоночной, так и сонной артерий. В наибольшей степени нарушения кровотока, приводящие к изменениям биоэлектрической активности мозга, выражены в вертебро-базиллярном бассейне [3,4]. Изменения биоэлектрической активности мозга могут усугубляться нарастанием хронического эмоционального напряжения у пациентов с некупируемым болевым синдромом и остальными клиническими проявлениями. Для диагностики происходящих изменений необходимо проведение электроэнцефалографии (ЭЭГ) [5].

Анализ показателей электроэнцефалограммы в совокупности с клинической картиной заболевания дает возможность проведения дифференциальной диагностики, мониторинга за динамикой корковой ритмики и определения локализации наиболее выраженных патологических признаков. Однако, изучая отечественные и зарубежные литературные источники, мы не встретили публикаций об ЭЭГ исследованиях у пациентов со стенозом позвоночного канала на шейном уровне.

*Целью исследования* явилось использование электроэнцефалографии (ЭЭГ) для изучения функционального состояния отделов коры головного мозга у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника.

## Материалы и методы исследования

В группу обследованных вошли 47 больных в возрасте 30–42 лет, из них мужчин — 31 и женщин — 16. Диагноз спинального стеноза (М.48.0) был поставлен на основании клинико-инструментального обследования пациентов с применением рентгенографии шейного

отдела позвоночника; компьютерной томографии (КТ); магнитно-резонансной томографии (МРТ), электроэнцефалографии (ЭЭГ). Все пациенты имели жалобы на цервикалгии с иррадиацией в затылочную часть головы, плечо, лопатку. Боли носили затяжной характер, плохо поддавались лечению на амбулаторном этапе. Также все пациенты отмечали наличие признаков неврологического дефицита в виде симптомов раздражения, проводниковых расстройств чувствительности — парестезий — разной степени выраженности, подтвержденных с помощью ЭЭГ. Кроме того, пациенты отмечали температурные дизестезии и другие вегетативно-сосудистые расстройства.

ЭЭГ исследования проводились по стандартной методике (фоновая ЭЭГ и при функциональных пробах — открывание и закрывание глаз, ритмическая фотостимуляция, гипервентиляция) с использованием энцефалографа ЭЭГА-21\26 «Энцефалан-131-03» (г. Таганрог) со стандартной установкой скальповых ЭЭГ электродов по системе «10-20». Математическая обработка ЭЭГ-показателей произведена с помощью статистической программы IBM SPSS 21.

Материалы одобрены комитетом по биомедицинской этике ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии».

## Результаты и обсуждение

При анализе фоновой ЭЭГ у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника (табл. 1) средние значения мощности корковой ритмики ЭЭГ в затылочной, теменной, центральной, височной областях правого и левого полушарий практически не отличались друг от друга. Альфа-ритм с частотой  $10 \text{ Гц} \pm 1,25$  и амплитудой  $74,0 \text{ мкВ} \pm 16,5$  слева, с частотой  $9 \text{ Гц} \pm 1,35$  и с амплитудой  $72,3 \text{ мкВ} \pm 9,8$  справа был выражен в затылочных отведениях. Бета-ритм — в височной и теменной области имел высокую амплитуду (до  $22,6 \text{ мкВ}$ ). Следовательно, в фоновой записи имеются данные за десинхронизированный характер ЭЭГ.

При функциональных нагрузках в виде гипервентиляции, фотостимуляции определенного ритма возникают значимые изменения амплитудно-частотных характеристик ЭЭГ. Активность альфа-ритма «блокируется» при открывании глаз, при светостимуляции (частота  $13,0 \text{ Гц} \pm 1,4$ , амплитуда  $20,8 \text{ мкВ} \pm 1,2$  слева и частота  $10,2 \text{ Гц} \pm 0,48$ , амплитуда  $23,0 \text{ мкВ} \pm 1,5$  справа) и гипервентиляции: частота  $7,6 \text{ Гц} \pm 1,72$ , амплитуда  $29,6 \text{ мкВ} \pm 1,3$  слева и частота  $13,2 \text{ Гц} \pm 0,74$ , и амплитуда  $22,8 \text{ мкВ} \pm 1,0$  справа соответственно (табл. 2). Следовательно, во время действия светового раздражителя и гипервентиляции 3 мин на ЭЭГ с латентным периодом около 1 сек возникает реакция депрессии альфа-ритма. Амплитуда

Таблица 1.

Средняя мощность (мкВ) ритмов ЭЭГ областей коры правого и левого полушарий головного мозга у больных со стенозом ШОП

Область		Диапазон ритмов			
		Альфа	Бета	Тета	Дельта
Затылочная	правая	72,3±9,8*	17,7±4,7	26,8±6,4	21,7±1,7
	левая	74,0±16,5*	19,2±4,4	25,0±6,2	21,5±1,6
Теменная	правая	45,0±9,7	15,8±1,4	31,2±11,7	31,2±11,7
	левая	50,0±7,5	21,1±6,1	32,5±11,8	32,1±11,8
Центральная	правая	32,8±5,7	20,5±5,7	25,0±5,2	18,1±1,4
	левая	39,4±4,9	21,1±6,5	26,8±6,4	18,0±1,5
Лобная	правая	39,0±2,5	16,2±3,6	18,5±2,3	23,5±1,8
	левая	41,4±2,1*	17,9±4,2	20,3±1,78	21,0±1,9
Височная	правая	34,5±2,7*	20,5±5,7	12,0±1,0	12,5±1,0
	левая	41,7±1,2	22,6±9,4	12,8±1,0	12,8±1,07

Примечание: \* —  $p < 0,05$

Таблица 2.

Изменения средней мощности и средней частоты альфа-ритма у больных со стенозом шейного отдела позвоночника

Состояние	Область	Мощность альфа-ритма, мкВ		Частота альфа-ритма, Гц	
		левая	правая	левая	правая
фон	затылочная	74,4±16,5*	72,3±9,8*	10,0±1,2	9,5±0,86
	центральная	36,8±6,4	41,8±5,2	10,2±0,97	10,7±0,95
	лобная	40,9±4,9	42,9±4,8	9,4±0,78	11,2±0,92
свет	затылочная	23,0±1,4*	20,8±1,2*	10,2±0,48	13,0±1,5
	центральная	24,8±2,1	21,1±1,1	10,8±0,31	13,2±1,0
	лобная	23,0±1,8	18,7±1,5	8,59±0,37	13,5±1,2
гипервентиляция	затылочная	27,6±5,72*	19,6±1,3*	13,2±0,74	12,8±1,0
	центральная	27,8±1,6	17,8±1,1	10,1±0,28	11,5±0,98
	лобная	27,5±2,7	18,4±1,2	9,6±0,32	12,5±1,0

Примечание: \* —  $p < 0,05$

альфа ритма после функциональных проб не восстанавливалась до фоновых значений ЭЭГ у 75 % обследованных пациентов, что является подтверждением десинхронизации основного ритма ЭЭГ.

При световом раздражении отмечено уменьшение амплитуды альфа-ритма и увеличение амплитуды бета — (до 26–28 мкВ), дельта — (до 35–37 мкВ) и тета — (до 38–40 мкВ) — ритмов. Регистрация большого числа бета-колебаний высокой частоты и амплитуды связывают с явлениями ирритации мозговых структур (десинхронизированный характер ЭЭГ). Ирритация корковых структур может протекать бессимптомно, но может при-

водить к нарушениям функций головного мозга и организма в виде синдромов нейропсихологического и вегетативного происхождения.

У обследованных пациентов при стимулирующем воздействии выявляются реципрокные отношения реакций ритма альфа-диапазона: в задних отделах альфа— ритм угнетается, а в передних отделах усиливается (увеличивается амплитуда). Кроме того, в лобно-центральных отведениях усиливается бета-активность, что может быть проявлением дисфункции мезодиэнцефальных структур головного мозга (табл. 2).

На фоне сниженной альфа-активности на ЭЭГ в группе обследованных регистрировался тета-ритм с высокой частотой и высокой амплитудой с преобладанием в лобно-центрально-теменных областях, что может указывать на ослабление тормозных влияний коры на мезодиэнцефальные структуры мозга [6]. В передних областях мозга регистрировался низкоамплитудный дельта-ритм с низкой частотой, в теменно-затылочных областях — низко-частотный с высокой амплитудой..

Появление медленных ритмов тета- и дельта-диапазона при регистрации ЭЭГ относят к патологическим изменениям биоритмики [7,8]. Подобные изменения биоритмики после функциональных проб свидетельствуют о десинхронизации, которая может быть следствием гипоксии, нарушения метаболизма и дисциркуляторных расстройств, обусловленных изменением гемодинамики при стенозе позвоночного канала и сужении позвоночной артерии.

При этом снижение амплитуды альфа- и увеличение амплитуды тета-ритма регистрируется в теменно-затылочных отведениях, а увеличение (гиперсинхронизация) амплитуды бета-ритма — в лобно-центральных отведениях. Подобное усиление (синхронизация, увеличение амплитуды) может иметь отношение к отражению процессов реверберации [8]. Возникающие в ответ на вспышку света в коре мозга медленные волны в последующем распространяются и на подкорковые образования, а затем еще более отчетливо проявляются в коре [9,10,11].

### Заключение

При стенотических изменениях шейного отдела позвоночника уменьшается полость, в которой находятся спинной мозг, нервы и сосуды позвоночника. Развивается стеноз сосудов шеи, приводящий к нарушению мозгового кровообращения.

Фоновая запись электроэнцефалограммы у пациентов со стенозом позвоночного канала на шейном уровне выявила наличие десинхронизации биоритмов.

При функциональных нагрузках в виде гипервентиляции, фотостимуляции были зарегистрированы изменения амплитудно-частотных характеристик биоритмов ЭЭГ. Так, было обнаружено изменение альфа-активности зрительной зоны коры затылочных областей, моторной зоны коры — области центральных извилин, лобных областей коры, выполняющих особую роль в синтезе афферентных сигналов. Отмеченное увеличение амплитуды бета-ритма в лобно-центральных отведениях, возможно имеет отношение к отражению соматических, сенсорных и двигательных корковых процессов, вызванных наличием раздражающих факторов. Наличие медленной активности — низкочастотного с низкой амплитудой дельта-ритма в передних областях мозга и низкочастотного с высокой амплитудой в теменно-затылочных областях говорит о патологическом процессе с вовлечением глубоких структур мозга, что, возможно, обусловлено гипоксией и дисциркуляторными расстройствами в системе ликворообращения и кровообращения. Одновременная регистрация тета-ритма с высокой частотой и высокой амплитудой с преобладанием в лобно-центрально-теменных областях, может быть следствием ослабления тормозных влияний коры на мезодиэнцефальные структуры мозга, отвечающие за регуляцию таких

функций как сон, изменение поведения, агрессию или депрессивное состояние, изменение когнитивных функций.

Для больных со стенозом шейного отдела позвоночника характерны максимальные изменения электрической активности в центрально-теменно-затылочных областях коры, требующие назначения адекватного лечения. Учитывая, что изменения на электроэнцефалограмме не являются строго специфическими, изучение зарегистрированной десинхронизации корковой ритмики рекомендуется проводить с целью оптимизации лечебного процесса: своевременного назначения лекарственных препаратов, наблюдения в динамике за результатами лечения в стационаре и на этапах реабилитации.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

*Финансирование.* Исследование проведено без спонсорской поддержки.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Исайкин А.И., Акарачкова Е.А., Ахунов А.Н. Диагностика и лечение острой неспецифической боли в шейном отделе у лиц молодого возраста. Эффективная фармакотерапия. 2021; 17(29): 22–30. DOI 10.33978/2307-3586-2021-17-29-22-30
- Зенков Л.П. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии). Руководство для врачей. М.: МЕДпрессинформ, — 2004, — 368 с.
- Кинаш И.Н., Верхозина Т.К., Ипполитова Е.Г., Кошкарёва З.В. Особенности показателей электроэнцефалографии и реоэнцефалографии у пациентов со стойким болевым синдромом на примере поясничного спинального стеноза. //Материалы 81-й Международной научной конференции «Научные дискуссии в эпоху глобализации и цифровизации». «Евразийское Научное Объединение» №11 (81), ноябрь 2021. с. 47–51 <https://doi.org/10.5281/zenodo.5796892>
- Панасевич Е.А., Трифонов М.И. Прогнозирование успешной когнитивной деятельности на основе интегральных характеристик ЭЭГ // Физиология человека, «Наука», №2, 2018, Том 44, с. 103–111. doi: <https://doi.org/10.7868/50131164618020145>
- А.И. Федотчев, А.А. Земляная «Зависящая от состояния мозга неинвазивная нейростимуляция с обратной связью от ЭЭГ: достижения и перспективы (обзор)». Современные технологии в медицине. 2023, том 15, номер 5, стр. 33. DOI: <https://doi.org/10.17691/stm2023.15.5.04>
- Glass L (2001) Synchronization and rhythmic processes in physiology // Nature. (410), iss. 6825, 277–284. DOI: 10.1038/35065745
- Grabner RH, Fink A., Neubauer AC (2007). Brain correlates of self-rated originality of ideas: Evidence from event-related power and phaselocking changes in the EEG // Behavioral Neurosci. (121.1), 224–230. DOI: 10.1037/0735-7044.121.1.224
- Hovatta I., Juhila J., Donner J. (2010). Oxidative Stress in Anxiety and Comorbid Disorders // Neurosci. Res. 68,(4), 261–275.
- Linkenkaer-Hansen K, Nikouline VV, Palva JM, Ilmoniemi RJ. (2001). Long-range temporal correlations and scaling behavior in human brain oscillations // J. Neurosci. (21), 4, 1370–1377. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.21-04-01370.2001
- Vaillancourt DE, Newell KM (2002). Changing complexity in human behavior and physiology through aging and disease // Neurobiology of Aging. 23, (1), 1–11. DOI: 10.1016/s0197-4580(01)00247-0
- Т.Д. Джебраилова 1, \*, И.И. Коробейникова 2, \*\*, Н.А. Каратыгин 2, Я.А. Венерина 1, Е.В. Янтикова 1 «Когерентность тета1-диапазона ээг в состоянии относительного покоя и при тестировании внимания у испытуемых с разной личностной тревожностью». Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова, 2023, Т. 73, № 2, стр. 214–229. DOI: 10.31857/S0044467723020041

© Кинаш Ирина Николаевна (kinash60@mail.ru); Верхозина Татьяна Константиновна (tkverhozina@gmail.com); Ипполитова Елена Геннадьевна (elenaippolitova@mail.ru); Цысляк Елена Сергеевна (helenasergeevna@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ УГЛУБЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ОКАЗАНИЯ НЕОТЛОЖНОЙ ПОМОЩИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАПРАВЛЕНИЙ УЛУЧШЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ?

## WHAT CAN AN IN-DEPTH ANALYSIS OF EMERGENCY CARE PROVIDE TO DEVELOP WAYS TO IMPROVE INDICATORS?

**A. Kolesnikov  
Z. Albakova  
Ju. Polyakova  
E. Kucherenko**

*Summary.* More than half of the deaths are caused by conditions with pre-hospital and emergency care. The ongoing research allows us to develop a universal prehospital sorting scale. The aim of the study was to evaluate patients before admission to the hospital. Conditions such as traumatic brain injury, chest injury and increased time spent at the scene have been identified as independent risk factors for fatal injuries. To reduce mortality, it is necessary to expand specialized transportation, organize intensive care during transportation and expand specialized training for drivers, crews of the highway patrol service and police officers. The main problem of the lack of a generally accepted approach to triage and assessment of the severity of patients must be solved by optimizing the indicators of excessive and insufficient triage, while the benefits of intensive care should be balanced with the absence of an increase in stay time. To solve these problems, a new universal, simple and sensitive triage tool has been developed, which is being implemented into the system of emergency medical care in the Republic of Ingushetia, the triage program «DARTS».

*Keywords:* triage, prehospital care, emergency care, mortality.

**Колесников Андрей Николаевич**

доктор медицинских наук, профессор,  
ФБГОУ ВО «Донецкий государственный медицинский  
университет им. М. Горького»  
Akolesnikov1972@gmail.com

**Албакова Зара Абдул-Мажитовна**

кандидат медицинских наук, доцент,  
врач анестезиолог-реаниматолог, главный врач ГБУЗ  
«Карабулакская городская больница»  
zara.albakova@yandex.ru

**Поляхова Юлия Николаевна**

кандидат медицинских наук, врач анестезиолог,  
Детский клинический центр, г. Макеевка  
may.jl@mail.ru

**Кучеренко Елена Александровна**

кандидат медицинских наук, доцент,  
ФБГОУ ВО «Донецкий государственный медицинский  
университет им. М. Горького»  
vitaminka.vitami@mail.ru

*Аннотация.* Более половины смертей вызваны состояниями с оказанием догоспитальной и неотложной помощи. Проводимое исследование позволяет разработать универсальную догоспитальную шкалу сортировки. Целью исследования была оценка пациентов до поступления в больницу. Такие условия как черепно-мозговая травма, травма грудной клетки и увеличение времени пребывания на месте происшествия определены как независимые факторы риска смертельных травм. Для снижения летальности необходимо расширение специализированной транспортировки, организация интенсивной терапии при транспортировке и расширение специализированной подготовки водителей, экипажей дорожно-патрульной службы и полицейских. Основную проблему отсутствия общепринятого подхода к триажу и оценки степени тяжести пациентов необходимо решать, оптимизируя показатели избыточной и недостаточной сортировки, при этом преимущества интенсивной терапии должны быть сбалансированы с отсутствием увеличения времени пребывания на месте. Для решения этих проблем разработан новый универсальный, простой и чувствительный инструмент триажа, который внедряется в систему оказания экстренной медицинской помощи Республики Ингушетия программа триажа «DARTS».

*Ключевые слова:* триаж, догоспитальная помощь, неотложная помощь, летальность.

### Актуальность

Смертность является ключевым параметром для оценки результатов лечения пациентов и часто используется в качестве показателя качества в общих неотложных и догоспитальных исследованиях [1, 5, 6, 7, 8, 19, 25]. Измерение смертности представляет со-

бой сложную задачу для пациентов, которым оказывается неотложная помощь. Этот ключевой вопрос решается по-разному при классификации случаев смерти на догоспитальном этапе и при включении или исключении их из расчетов смертности. На догоспитальном этапе единообразной диагностике смерти препятствует множество причин, включая отсутствие указаний на начало

и окончание реанимационных мероприятий [18, 21, 24]. Описания этих вопросов в исследованиях скудны, и в настоящее время нет единого определения и консенсуса в отношении сообщений о смерти на догоспитальном этапе [2, 10, 17].

В представленной статье сравниваются подходы к оценке статистических данных, используемые в странах ЕС и США и, на их основе оцениваются данные, полученные в наших статистических отчетах, с разработкой направлений углубленного анализа данных.

Последний систематический обзор [13] выявил значительную неоднородность в терминах и определениях, используемых для квалификации пациентов с множественной травмой в рандомизированных контролируемых исследованиях. Это подчеркивает важность дальнейших усилий по созданию уникального и последовательного определения множественной травмы, принимая во внимание чувствительный ко времени характер этой патологии.

Сортировка применяется неоднократно и применяется во всем спектре оказания неотложной помощи: во время отправки ресурсов, после прибытия персонала догоспитальной службы на место происшествия к пациенту и снова персоналом принимающего учреждения [22].

В частности, в странах с низким и средним уровнем дохода (СНД) догоспитальная сортировка может играть еще более важную роль. Подсчитано, что более половины смертей в Странах СНГ вызваны состояниями, при которых оказывается догоспитальная и неотложная помощь. Примерами могут служить инфекционные заболевания, осложнения беременности, сердечно-сосудистые заболевания, дорожно-транспортные происшествия и межличностное насилие [11].

В то время как в большинстве исследований по сортировке травм изучались эксплуатационные характеристики систем триажа, необходимо определить пути дальнейшего упрощения инструментов для оказания скорой медицинской помощи [3]. В этих исследованиях подчеркивались проблемы разработки идеального инструмента сортировки: дизайн должен оптимизировать показатели избыточной и недостаточной сортировки, оставаясь при этом оптимизированным и удобным для пользователя, чтобы способствовать широкому внедрению.

Наш литературный обзор выявил 55 исследований по инструментам догоспитальной сортировки, опубликованных за последнее десятилетие. В 2019 году делегаты 72-й Всемирной ассамблеи здравоохранения приняли резолюцию об укреплении систем неотложной и травматологической помощи, а догоспитальная помощь была выделена в качестве важнейшего компонен-

та [29]. Инструменты догоспитальной сортировки являются ключевым строительным блоком для обеспечения качества и безопасности при разработке новых систем неотложной медицинской помощи [16].

Мы не нашли единого общепринятого 'стандартного' инструмента сортировки на догоспитальном этапе.

Таким образом, проводимое нами исследование позволяет разработать универсальную догоспитальную шкалу сортировки, нивелирующую известные недостатки.

Догоспитальное лечение является важной частью цепочки спасения и важным фактором, определяющим исход пациентов. По всему миру были созданы национальные реестры травм для анализа эпидемиологии, характера травм, лечения и исходов пациентов с тяжелыми травмами. Однако большинство национальных реестров травм, таких как Национальная база данных травм в Соединенных Штатах [26], а также Швейцарский реестр травм [23], не включают пациентов, умерших на догоспитальном этапе и которых не переводили в больницу. В результате наблюдается полное отсутствие информации о пациентах, умерших на догоспитальном этапе, которых иногда классифицируют, как «потерянную когорту». Эта информация была бы важна для получения глубоких знаний об этой важной группе, особенно для улучшения догоспитальной помощи [9, 14, 15, 27, 28].

Целью настоящего исследования было оценить пациентов до поступления в больницу.

При сравнении характеристики пациентов и вмешательства при смертельных травмах с теми, кто страдает от травм, угрожающих жизни [12], было выявлено, что черепно-мозговая травма (ЧМТ), травма грудной клетки и увеличение времени пребывания на месте происшествия были определены как независимые факторы риска смертельных травм.

Особенно на догоспитальном этапе потенциальные преимущества реанимации и интенсивной терапии (ИТ) должны быть сбалансированы с отсутствием увеличения времени пребывания на месте. Что и решает разработанная нами программа догоспитального триажа.

Результаты показывают, что каждое увеличение времени до раннего реанимационного вмешательства на 1 минуту связано с увеличением на 2 % вероятности 30-дневной смертности и на 1,5 % вероятности 24-часовой смертности.

## Материалы и методы

Для анализа взяты показатели за 10 лет из доклада «Статистический анализ деятельности медицинских

организаций здравоохранения Республики Ингушетия 2014–2023 гг.» Министерства Здравоохранения Республики Ингушетия (РИ), государственного бюджетного учреждения «медицинский информационно-аналитический центр».

**Результаты**

Данные в отчетах соответствуют рекомендациям письма Минздрава России № 13-2/И/2-21855 от 19.12.2022 г. «О порядке составления годовых статистических отчетов за 2022 г.» и Приказа Минздрава Республики Ингушетия № 530 от 05.12.2022 г. «О подготовке годового статистического отчета за 2022 г.».

Сразу необходимо сказать о том, что данные статистического отчета более, чем удовлетворительные и проблемы, поднимаемые в статье, носят научный и дискуссионный характер, направленные на разработку и внедрение научного подхода к улучшению показателей оказания неотложной помощи.

Всего в медицинских организациях помощь оказывают 2271 врач или 43.7 на 10 тыс. населения, из которых: с высшей категорией — 507, с 1 категорией — 98, со

2 категориями — 15, имеют сертификат специалиста — 1900 человек; 2021 г — 2247 врача или 43.9 на 10 тыс. населения; по РФ — 37.7; увеличение количества врачей, в сравнении с 2014 годом на 26.4 %.

По данным таблицы 1 видно, что почти половина населения РИ составляет сельское население (обсуждение данного показателя и, связанных с этим проблем в следующих наших публикациях), население в трудоспособном возрасте — 305,3, на которое и направлено данное исследование.

Работа бригад скорой медицинской помощи (СМП) (таблица 2, 3), по-хорошему, впечатляет и демонстрирует высокий уровень оказания неотложной помощи.

Ожидаемая продолжительность жизни составляет по Республике Ингушетия за 2022 г. 78.7 лет; по РФ — 72.82 лет. Показатель по РИ выше на 8.0 % по сравнению с РФ.

Уровень смертности в Республике (таблица 4) в течение последнего десятилетия менялся незначительно вокруг значения 3.1 в расчете на 1 000 человек населения. По-прежнему среди причин смерти преобладают болез-

Таблица 1.

Численность постоянного населения (тыс. чел. (по данным Ингстат)

Категория населения	Год								
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Всего населения	463.9	472.8	480.4	488.0	497.4	507.0	515.5	511.3	519.0
Городское	189.0	195.3	200.8	269.9	275.9	282.1	287.2	280.3	284.6
Сельское	274.9	277.5	279.6	218.1	221.5	224.9	228.3	231.0	231.4
Всего женщин	254.5	258.8	262.7	266.5	271.2	276.1	280.3	278.0	282.2
Всего мужчин	209.4	214.0	217.7	221.5	226.2	230.9	235.2	233.3	236.8
Взрослое население	307.3	315.2	323.2	331.2	340.4	348.9	357.0	354.1	359.4
Детское население	156.6	157.6	157.2	156.8	156.9	158.1	158.5	157.2	159.6
Население в трудоспособном возрасте	273.9	277.6	281.9	284.9	289.5	294.1	303.3	300.8	305.3

Таблица 2.

Показатели деятельности службы скорой медицинской помощи

Наименование показателей	Год								
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Выполнено выездов скорой помощи (абс. числа, на 1 000 нас.)	<u>333.8</u> 154873	<u>307.6</u> 145419	<u>296.0</u> 142239	<u>301.1</u> 146959	<u>301.8</u> 150096	<u>298.9</u> 151549	<u>299.0</u> 154131	<u>296.2</u> 151456	<u>300.4</u> 155953
Выполнено выездов по поводу заболеваний (в % от общего числа выполненных вызовов)	<u>93.3</u> 144524	<u>90.6</u> 131706	<u>91.8</u> 130580	<u>92.4</u> 135780	<u>97.3</u> 146075	<u>96.6</u> 146485	<u>96.0</u> 147971	<u>96.2</u> 145712	<u>96.3</u> 150218
Выполнено вызовов по поводу несчастных случаев (в % от общего числа выполненных вызовов)	<u>1.0</u> 1423	<u>1.1</u> 1578	<u>1.3</u> 1830	<u>1.1</u> 1650	<u>1.2</u> 1858	<u>1.7</u> 2633	<u>1.9</u> 2866	<u>1.9</u> 2809	<u>2.2</u> 3380
Медицинская помощь, оказанная выездными бригадами (на 1000 нас.)	<u>334.8</u> 155337	<u>308.4</u> 145823	<u>296.9</u> 142659	<u>301.7</u> 147225	<u>302.3</u> 150337	<u>299.0</u> 151620	<u>299.6</u> 154466	<u>289.8</u> 151863	<u>301.4</u> 156447

Таблица 3.

Показатели обеспеченности граждан республики скорой медицинской помощью

Наименование показателей	Год								
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Выполнено выездов скорой помощи (абс. числа, на 1 000 нас.)	333.8 154873	307.6 145 419	296.0 142239	301.1 146959	301.8 150096	298.9 151549	299.0 154131	296.2 151456	300.4 155953
Выполнено выездов по поводу заболеваний (в % от общего числа выполненных вызовов)	93.3 144524	90.6 131706	91.8 130580	92.4 135780	97.3 146075	96.6 146485	96.0 147971	96.2 145712	96.3 150218
Выполнено вызовов по поводу несчастных случаев (в % от общего числа выполненных вызовов)	1.0 1423	1.1 1578	1.3 1830	1.1 1650	1.2 1858	1.7 2633	1.9 2866	1.9 2809	2.2 3380
Медицинская помощь, оказанная выездными бригадами (на 1000 нас.)	334.8 155337	308.4 145823	296.9 142659	301.7 147225	302.3 150337	299.0 151620	299.6 154466	289.8 151863	301.4 156447

Таблица 4.

Показатели смертности населения РИ по основным классам причин смерти за 2015–2021 гг.

Причины смерти	Год													
	2016		2017		2018		2019		2020		2021		2022	
	абс. чис.	Показатель на 100 тыс												
Смертность от всех причин	1555	326.6	1554	321.3	1548	318.0	1529	301.5	1946	377.5	2194	422.2	1727	327.2
Смертность от болезней системы кровообращения	707	148.5	702	145.1	696	139.9	635	126.8	759	147.2	745	143.6	692	131.3
Болезни органов дыхания	25	5.3	22	4.5	21	4.2	18	3.6	30	5.8	36	6.9	33	6.3
Болезни органов пищеварения	23	4.8	21	4.3	22	4.4	22	4.4	22	4.3	23	4.4	23	4.4
Смертность от новообразован.	254	53.4	251	51.9	251	50.4	249	49.7	247	47.9	283	54.5	256	48.6
Смертность от туберкулеза	13	2.7	12	2.5	10	2.0	9	1.8	6	1.2	4	0.8	4	0.8
Смертность от дорожно-транспортных происшествий	47	9.9	43	8.9	44	9.0	45	9.0	75	14.5	87	16.8	58	11.0
Материнская смертность	0	0	0	0	1	12.6	0	0	0	0.0	3	35.4	1	12.6
Младенческая смертность	86	10.4	58	7.3	49	6.2	47	5.9	47	5.6	47	5.6	42	5.2

ни системы кровообращения, новообразования, а также несчастные случаи (травмы и отравления). Всего умерло в 2022 году — 1 727 человек; в 2021 году умерло — 2 194 человек.

В нижеследующих таблицах (таблица 5, 6) представлены данные, характеризующие оказание помощи при травмах и отравлениях.

Из данных таблицы 5 видно, что количество травм за последние 3 года остается достаточно высоким (2021 г. — 3201, 2022 г. — 3461 и 2023 г. — 3224). При этом, летальность в этой группе составляет 1,4–1,8 %.

Обращает на себя внимание то, что бригадой СМП в больницу было доставлено не более 25 % пострадавших. И это при том, что переломы черепа и лицевых костей (ТЧМТ) составляют до 50 %!

Промежуточным выводом может быть тот факт, что большинство пострадавших были доставлены не бригадами СМП и без соответствующей иммобилизации и интенсивной терапии.

Данные таблицы 6, наверное, раскрывают главный вопрос исследования: а какая терапия проводилась пациентам, с учетом того, что от 0,5 до 2% доставленных пациентов умерли в течение 1-2 часов после поступления?

То есть, по данным таблиц 5 и 6, выявлены показатели, на которые следует обратить внимание для снижения летальности в данной группе, а именно, расширение специализированной транспортировки пациентов, организацию интенсивной терапии при транспортировке и, вероятно, расширению специализированной подготовки водителей, экипажей дорожно-патрульной службы (ДПС) и полицейский, с учетом выявленных региональных особенностей.

Таблица 5.

Сводные показатели оказания помощи при травмах и отравлениях за 2021–2023 гг.

Наименование болезни	Взрослые (18 лет и более)											
	всего			Доставлено пациентов по экстренным показаниям в стационар			Из них: доставленных скорой мед. помощью			Умерло		
	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023	2021	2022	2023
Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин	3201	3463	3224	1995	2081	1592	873	821	798	41	41	54
Из них: переломы	1115	1385	1444	800	817	41	339	327	313	3	19	4
Из них: переломы черепа и лицевых костей	318	427	418	156	179	781	156	179	179	3	10	26
Травма глаза и глазницы	15	15	15	13	13	183	5	5	5	0	0	14
Внутричерепная травма	599	769	749	559	591	13	321	325	310	26	13	0
Термические и химические ожоги	150	153	165	150	153	550	117	119	123	5	4	19
Отравление лекарственными средствами, медикаментами и биологическими веществами	66	59	76	20	13	162	14	12	30	0	0	3
Из них: отравление наркотиками				0	0	30	0	0	0	0	0	0
Токсическое действие веществ преимущественно немедицинского назначения	44	33	23	31	23	15	18	10	8	0	1	0
Из них: токсическое действие алкоголя	4	2		4	2	15	2	0	8	0	0	0

Таблица 6.

Сводные данные за 2019–2023 гг. в группе травматизма и ДТП

Характеристики летальности в группах травматизма и ДТП	Год				
	2023	2022	2021	2020	2019
травматизм	979	776	576	560	431
ДТП	519	390	260	337	294
летальность до прибытия	18				
летальность в больнице		6	10	15	8
летальность в течении 1–2 часов после транспортировки	5	5	7	4	7
летальность всего	54	41	41		

**Анализ и обобщение**

Анализируя полученные данные, можно сказать о том, что более половины населения Республики Ингушетия является трудоспособным и усовершенствование оказания неотложной помощи является актуальным. Учет региональных особенностей в виде преобладания сельского населения накладывает на службы медицины катастроф дополнительную нагрузку. Можно думать, что региональные особенности также влияют на показатель доставки пациентов с травмами и отравлениями медицинским транспортом (до 75 %), невзирая на повышение на 3 % количества вызовов и оказанной помощи бригадами СМП. При этом, процент вызовов от общего

количества на несчастные случаи и ДТП составляет 2,2 % (увеличение за 10 лет более, чем в 2 раза).

Летальность в этой группе пациентов составляет 1,4–1,8 %, а летальность, связанная с транспортировкой, составляет от 0,5 до 2 %.

Данные, предоставляемые официальной статистикой, не позволяют дать ответы на ряд вопросов, которые могут снизить летальность в данной группе пациентов.

Итак, в отчетах не предоставлена информация о проводимой сердечно-легочной реанимации (СЛР), протекции дыхательных путей, иммобилизации (в частности, шейного отдела и таза), пункции плевральной полости при подозрении на торакотравму и проводимой интенсивной терапии.

По данным международных реестров, проблема верификации смерти на догоспитальном этапе и/или этапах транспортировки может решаться усовершенствованием медицинской документации и терминологии на догоспитальном этапе.

Оценка включает причину вызова неотложной помощи, информацию о доставке, жизненно важные показатели, введенные лекарства, назначенное лечение, раздел «Остановка сердца» (где применимо) и поля для примечаний ко всей медицинской карте на догоспитальном этапе. Должны быть получены окончательные исчерпывающие и взаимоисключающие категории:

1) умер по прибытии скорой помощи, 2) внебольничная остановка сердца, 3) жив по прибытии скорой помощи и 4) четкой категории нет. В таблице 7 подробно описаны эти окончательные категории и определения, применимые для использования другими.

Таблица 7.

Определения и конкретные критерии категории жизненного статуса на основе медицинских записей на догоспитальном этапе [20]

<b>Умер по прибытии скорой помощи</b>
• У пациента обнаружен обширный распад или явно смертельные травмы, несовместимые с дальнейшей жизнью (= признаки смерти у постороннего наблюдателя)
или
• В полях примечания указано, что пациент был найден без признаков жизни и не зарегистрированы жизненно важные показатели или жизненно важные показатели = 0, попыток реанимации, лечения и приема лекарств не было
<b>Внебольничная остановка сердца</b>
Внебольничная остановка сердца определена в соответствии с рекомендациями для пациентов, которым была начата реанимация. Пациенты, у которых была обнаружена внебольничная остановка сердца были подразделены на категории в зависимости от уровня лечения:
Только базовое жизнеобеспечение (базовая СЛР) • Пациенту оказывалась только базовая жизнеобеспечение (ручные компрессии грудной клетки и / или спасательные вдохи, БЕЗ дефибрилляции) — либо только сторонним наблюдателем, либо любимым специалистом скорой медицинской помощи
Усовершенствованное лечение (внегоспитальная остановка сердца — ALS) • Пациент получил базовую систему жизнеобеспечения и дефибрилляцию и / или любое расширенное лечение (интубация, жидкостная терапия, адреналин, механическая компрессия грудной клетки, кислородотерапия, оборудование для управления дыхательными путями или другое)
<b>Жив по прибытии скорой помощи</b>
Умер после оказания догоспитальной помощи • Пациенты выписаны живыми на месте происшествия или доставлены в больницу живыми без остановки сердца в любой момент
Уход в конце жизни • Пациент получал только медицинскую помощь в конце жизни и умер на месте происшествия или был выписан на место для оказания медицинской помощи в конце жизни, попыток реанимации не предпринималось
<b>Четкой категории нет</b>
• Неполная медицинская карта на догоспитальном этапе
или
• Выезд скорой помощи отменен до прибытия к пациенту

Пациенты должны быть классифицированы в группу базовой СЛР (только ручные компрессии грудной клетки и спасательные вдохи), даже когда СЛР назначалась

на короткое время, как рекомендовано в руководстве по определению внегоспитальной остановке сердца [20].

Какие еще показатели могут быть полезны, для оценки эффективности работы системы неотложной помощи (таблица 8)?

Таблица 8.

Группы показателей эффективности по схеме оказания неотложной помощи [4].

<b>1. Догоспитальные услуги</b>
1.1. Количество пациентов, обратившихся в службы неотложной медицинской помощи
1.2. Объем сердечно-легочной реанимации, проводимой сторонними наблюдателями
1.3. Доля пациентов с внебольничной остановкой сердца, свидетелями которой стали случайные прохожие
1.4. Время оказания доврачебной помощи: от вызова до оказания медицинской помощи
1.5. Выживаемость пациентов с внебольничной остановкой сердца
<b>2. Прием в отделение неотложной помощи</b>
2.1. Объем посещений отделений неотложной помощи
2.2. Режим прибытия в отделение неотложной помощи
2.3. Уровень срочности в зависимости от системы сортировки
2.4. Клиническая тяжесть при поступлении
2.5. Продолжительность симптомов до появления <sup>b</sup>
<b>3. Диагностика</b>
3.1. Объем диагностических процедур
3.2. Доля положительных результатов после диагностического тестирования
<b>4. Лечение</b>
4.1. Объем терапевтических вмешательств
4.2. Объем неотложных операций
4.3. Изменение подхода к лечению
4.4. Оперативное время
4.5. Продолжительность пребывания (отделение неотложной помощи / стационар)
<b>5. Результаты</b>
5.1. Решение после посещения отделения неотложной помощи
5.2. Внеплановые возвращения / повторные госпитализации <sup>b</sup>
5.3. Запланированный контрольный визит после посещения отделения неотложной помощи <sup>b</sup>
5.4. Уровень смертности после поступления в отделение неотложной помощи
5.5. Послеоперационные осложнения

Пациенты должны включаться в анализ, если они были пациентами с серьезной травмой (оценка тяжести

травмы (ISS  $\geq$  9), и имеющими хотя бы одно из следующих:

- Интубирован на догоспитальном этапе или в отделении ИТ.
- Препараты крови получали на догоспитальном этапе или в отделении неотложной помощи.
- Госпитализирован непосредственно в отделение интенсивной терапии 2-го или 3-го уровня из ОИТ.
- Прооперирован в течение 4 часов после прибытия в больницу.
- Гипотония по прибытии в отделение неотложной помощи (систолическое артериальное давление  $\leq$  90 мм рт. ст. для всех возрастных групп).
- Пациенты исключались, если они:
- Сам обратился в больницу.
- Получен изолированный перелом шейки бедра или одного ребра.
- У пациентов была диагностирована травматическая остановка сердца, и они не были доставлены в больницу.

Время суток и дни недели каждого инцидента должны быть стратифицированы на дневные и ночные периоды (08.00–20.00 ч и 20.00–08.00 ч соответственно) для анализа. Механизм инцидента классифицирован как падения с высоты менее 2 м, с высоты более 2 м, межличностное насилие, дорожно-транспортные происшествия, комбинированный взрыв, ожог или раздавливание или другой механизм.

Следующей проблемой является отсутствие общепринятого подхода к триажу и оценки степени тяжести пациентов (в 55 исследованиях более 47 вариантов диагностики). В то время как в большинстве исследований по сортировке травм изучались характеристики, группа авторов рекомендовала определить пути дальнейшего упрощения инструментов для оказания скорой медицинской помощи [3]. В этих исследованиях подчеркивались **проблемы разработки идеального инструмента сортировки**: дизайн должен оптимизировать показатели избыточной и недостаточной сортировки, оставаясь при этом оптимизированным и удобным для пользователя, чтобы способствовать широкому внедрению.

Наш литературный обзор выявил 55 исследований по инструментам догоспитальной сортировки, опубликованных за последнее десятилетие. Эти инструменты были сосредоточены на общих недифференцированных заболеваниях, травмах и инсультах популяции и все включенные исследования были проведены в странах с высоким уровнем дохода. Исследования в основном были направлены на оценку прогностической точности инструментов сортировки по сравнению с клинические исходы в стационаре и точность многих изученных упрощенных версий существующих инструментов. Эти опубликованные инструменты сортировки, как прави-

ло, предназначены для того, чтобы помочь на догоспитальном этапе определить пункт назначения транспорта, средства транспортировки и уровень срочности. Эти инструменты также, по-видимому, обеспечивают общий язык для персонала догоспитального отделения для общения с другим персоналом неотложной помощи и помогают выявлять нарушения жизненно важных показателей и результаты обследования в различных возрастных диапазонах, чтобы дифференцировать «острых» и «не острых пациентов».

Поэтому, разработка и внедрение нового универсального и максимально простого, и, в тоже время, чувствительного инструмента триажа является актуальным, для чего была разработана, запатентована и внедряется в систему оказания экстренной медицинской помощи Республики Ингушетия программа триажа «DARTS».

## Выводы

Невзирая на положительные данные отчетов статистики, «нет пределов для совершенства».

Учитывая нагрузку на систему оказания неотложной помощи, региональные особенности большинства областей и республик России, включая Республику Ингушетию, существует необходимость вовлечения в процесс оказания неотложной помощи дополнительных ресурсов в виде сотрудников полиции и ДПС, водителей и др. Для этого разработана и внедряется система быстрого триажа для мобильных устройств «DARTS».

На показатели летальности, как истинные, так и статистические может повлиять усовершенствование системы диагностики остановки сердца и учета проводимых реанимационных мероприятий (СЛР) и интенсивной терапии на догоспитальном этапе, в том числе и не профессионалами.

В то время как уровень смертности от травм снижается во многих частях мира, травма остается основной причиной смерти молодых пациентов и причиной значительной пожизненной инвалидности для многих других. Решение этой сложной проблемы требует комплексного комплексного подхода, включающего более эффективные стратегии профилактики среди населения, более эффективные клинические вмешательства и улучшения на системном уровне в оказании травматологической помощи, особенно на догоспитальном этапе. В конце концов инвестиции достигнут точки убывающей доходности, но в травме мало свидетельств того, что эта точка еще близка.

Необходима разработка комплексной программы (пилотного проекта), которая будет включать в себя:

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработку и внедрение единой диагностической программы триажа для служб неотложной помощи.</li> <li>2. Обучение персонала медицинского и немедицинского как триажу, так и проведению СЛР.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Обязательная верификация проведения на догоспитальном этапе протекции дыхательных путей, дренирования плевральной полости и иммобилизации (шейный отдел, таз и др)</li> <li>4. Просветительная работа</li> </ol> |
|---|--|

## ЛИТЕРАТУРА

1. Berdowski J, Berg RA, Tijssen JGPP, Koster RW. Global incidences of out-of-hospital cardiac arrest and survival rates: systematic review of 67 prospective studies. *Resuscitation*. 2010;81(11):1479–87
2. Bove DG, Swensen N, Timm H, Herling SF, Gjersue P. Patient characteristics of persons dead on arrival received in a danish emergency department: a retrospective review of health records. *J Emerg Nurs*. 2021;47(4):582–9
3. Brown JB, Stassen NA, Bankey PE, Sangosanya AT, Cheng JD, Gestring ML. Mechanism of injury and special consideration criteria still matter: an evaluation of the National Trauma Triage Protocol. *J Trauma*. 2011;70(1):38–44 (discussion 44–5)
4. Carvalho V., Broekema A.S., Brito Fernandes, Ó. et al. Acute care pathway assessed through performance indicators during the COVID-19 pandemic in OECD countries (2020–2021): a scoping review. *BMC Emerg Med* 24, 19 (2024). <https://doi.org/10.1186/s12873-024-00938-7>
5. Christensen EF, Bendtsen MD, Larsen TM, Jensen FB, Lindskou TA, Holdgaard HO, et al. Trends in diagnostic patterns and mortality in emergency ambulance service patients in 2007–2014: a population-based cohort study from the North Denmark Region. *BMJ Open*. 2017;7(8):e014508. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-014508>
6. Christensen EF, Larsen TM, Jensen FB, Bendtsen MD, Hansen PA, Johnsen SP, et al. Diagnosis and mortality in prehospital emergency patients transported to hospital: a population-based and registry-based cohort study. *BMJ Open*. 2016;6(7):e011558. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-011558>
7. Christensen HC, Dyrvig A-K, Nielsen H. The Danish Clinical Registries; Præhospitalsdatabasen Ersrapport Tidsperiode: 1. Januar 2020 — 31. December 2020 [Prehospital Database annual report Time period January 1st 2020 — December 31st] [Internet]. Vol. 2022. 2020. Available from: [https://www.sundhed.dk/content/cms/56/101656\\_aarsrapport\\_praehospitaldatabasen\\_2020\\_offentligversion.pdf](https://www.sundhed.dk/content/cms/56/101656_aarsrapport_praehospitaldatabasen_2020_offentligversion.pdf)
8. Ghorbani P, Falkin M, Riddez L, Sundeluf M, Oldner A, Strømmer L. Clinical review is essential to evaluate 30-day mortality after trauma. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2014;22(1):1–7
9. Gomes E, Araujo R, Carneiro A, Dias C, Costa-Pereira A, Lecky FE. The importance of pre-trauma centre treatment of life-threatening events on the mortality of patients transferred with severe trauma. *Resuscitation*. 2010;81(4):440–5
10. Handberry M, Bull-Otterson L, Dai M, Mann NC, Chaney E, Ratto J, et al. Changes in emergency medical services before and during the COVID-19 pandemic in the United States January 2018–December 2020. *Clin Infect Dis*. 2021;73:584–91
11. Hsia RY, Thind A, Zakariah A, Hicks ER, Mock C. Prehospital and emergency care: updates from the disease control priorities, version 3. *World J Surg*. 2015;39(9):2161–7
12. Jakob, D.A., Müller, M., Jud, S. The forgotten cohort—lessons learned from prehospital trauma death: a retrospective cohort study. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 31, 37 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13049-023-01107-8>
13. Jeanmougin, T., Cole, E., Duceau, B. Heterogeneity in defining multiple trauma: a systematic review of randomized controlled trials. *Crit Care* 27, 363 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13054-023-04637-w>
14. Jensen TW, Ersboll AK, Folke F, Wolthers SA, Andersen MP, Blomberg SN, et al. Training in basic life support and bystander-performed cardiopulmonary resuscitation and survival in out-of-hospital cardiac arrests in Denmark, 2005 to 2019. *JAMA Netw Open*. 2023;6(3):e233338
15. Lockey D, Crewdson K, Davies G. Traumatic cardiac arrest: who are the survivors? *Ann Emerg Med*. 2006;48(3):240–4.; Crewdson K, Lockey D. Mortality in traumatic cardiac arrest. *Resuscitation*. 2017;113:e21
16. Mehmood A, Rowther AA, Kobusingye O, Hyder AA. Assessment of pre-hospital emergency medical services in low-income settings using a health systems approach. *Int J Emerg Med*. 2018;11(1):53–10
17. Mills EHA, Aasbjerg K, Hansen SM, Ringgren KB, Dahl M, Rasmussen BS, et al. Prehospital time and mortality in patients requiring a highest priority emergency medical response: a Danish registry-based cohort study. *BMJ Open*. 2019;9(11):e023049
18. NHS Trust. Diagnosis of Death Procedure V8.0 — East Midlands Ambulance Service [Internet]. Vol. 2022. 2019. Available from: [https://www.whatdotheyknow.com/request/540450/response/1292199/attachment/2/DiagnosisofDeathProcedureV8.0.pdf?cookie\\_passthrough=1](https://www.whatdotheyknow.com/request/540450/response/1292199/attachment/2/DiagnosisofDeathProcedureV8.0.pdf?cookie_passthrough=1)
19. Nishiyama C, Kiguchi T, Okubo M, et al. Three-year trends in out-of-hospital cardiac arrest across the world: Second report from the international liaison committee on resuscitation (ILCOR). *Resuscitation*. 2023;186: 109757. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109757>
20. Nolan JP, Berg RA, Andersen LW, Bhanji F, Chan PS, Donnino MW, et al. Cardiac arrest and cardiopulmonary resuscitation outcome reports: update of the utstein resuscitation registry template for in-hospital cardiac arrest: a consensus report from a task force of the international liaison committee on resuscitation. *Am Circulation [Internet]*. 2019;140(18):746–57. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000710>
21. Population Health Directorate. Confirmation of death by registered healthcare professionals: framework [Internet]. Vol. 2022. 2018. Available from: <https://www.gov.scot/publications/confirmation-of-death-by-registered-healthcare-professionals-framework/>
22. Robertson-Steel I. Evolution of triage systems. *Emerg Med J*. 2006;23(2):154–5
23. Swiss Trauma Board. Swiss Trauma Registry (STR): Swiss Trauma Board; no Date [cited 2023 19.04.]. Available from: <http://www.swiss-trauma-board.ch/>
24. The Danish Health Authority. VEJ nr 10101 af 19/12/2006. Vejledning om ligsyn, indberetning af dødsfald til politiet og dødsattester m.v. [Guidance on inquest, reporting of deaths to the police and death certificates etc.] [Internet]. Vol. 2022. 2006. Available from: <https://www.retsinformation.dk/eli/retsinfo/2006/10101>

25. Van Haren RM, Thorson CM, Curia E, Schulman CI, Namias N, Livingstone AS, et al. Impact of definitions on trauma center mortality rates and performance. *J Trauma Acute Care Surg.* 2012;73(6):1512–6
  26. Von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gotsche PC, Vandenbroucke JP, Initiative S. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: guidelines for reporting observational studies. *Lancet.* 2007;370(9596):1453–7
  27. Webster S, Lawton G, Barnard EBG. Violent death in London: in the news, but not in the database. *Emerg Med J.* 2020;37(8):496
  28. Wissenberg M, Lippert FK, Folke F, Weeke P, Hansen CM, Christensen EF, et al. Association of national initiatives to improve cardiac arrest management with rates of bystander intervention and patient survival after out-of-hospital cardiac arrest. *JAMA.* 2013;310(13):1377–84
  29. World Health Organization. 72nd World Health Assembly adopts resolution on emergency and trauma care. <https://www.who.int/news/item/27-05-2019-72nd-world-health-assembly-adopts-resolution-on-emergency-and-trauma-care>. Accessed 10 Jan 2021
- 

© Колесников Андрей Николаевич (Akolesnikov1972@gmail.com); Албакова Зара Абдул-Мажитовна (zara.albakova@yandex.ru);  
Поляхова Юлия Николаевна (mau.Jl@mail.ru); Кучеренко Елена Александровна (vitaminka.vitami@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# УРОВЕНЬ ТРЕВОЖНОСТИ У МОЛОДЫХ ЖЕНЩИН И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА МЕНСТРУАЛЬНЫЙ ЦИКЛ

## ANXIETY LEVELS IN YOUNG WOMEN AND ITS IMPACT ON THE MENSTRUAL CYCLE

**Е. Конопако  
Kh. Shavoeva  
Yu. Bogomolova**

*Summary.* The menstrual cycle is a vivid reflection of not only the hormonal and somatic, but also the psychological health of a woman. Psychogenic influences and long-term stressful situations play a significant and even decisive role in the occurrence of various disorders of the reproductive system. The article presents the results of a survey of women of reproductive age with regular and irregular menstrual cycles, including the characteristics of the menstrual cycle, the level of anxiety, as well as determining the connection between the severity of premenstrual syndrome and problems arising as a result of psychological stress. A common characteristic feature for patients with stress-related menstrual cycle disorders is the presence of stress in life, but also other disorders, among which anxiety and anxiety disorders come to the fore, most often leading to delayed menstruation and irregularity of the menstrual cycle.

*Keywords:* anxiety, worry, stress, menstrual cycle regularity.

**Конопако Екатерина Алексеевна**  
ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России  
katerina.konopako@mail.ru  
**Шавоева Хазал Саядиновна**  
ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России  
Khazal.sh@mail.ru  
**Богомолова Юлия Алексеевна**  
Ассистент, ФГБОУ ВО Тверской ГМУ Минздрава России  
Yuliya-botvineva@yandex.ru

*Аннотация.* Менструальный цикл — это яркое отражение не только гормонального и соматического, но и психологического здоровья женщины. Значительную и даже определяющую роль играют психогенные воздействия и длительные стрессовые ситуации в возникновении различных расстройств репродуктивной системы. В статье представлены результаты проведенного опроса женщин репродуктивного возраста с регулярным и нерегулярным менструальным циклом, включающие особенности менструального цикла, уровня тревоги, определение связи между тяжестью предменструального синдрома и проблем, возникающих в результате психологического стресса. Общей характерной чертой для пациенток со стресс-зависимыми нарушениями менструального цикла является наличие стресса в жизни, но и других расстройств, среди которых на первый план выступают беспокойство и тревожные нарушения, приводящие, чаще всего к задержке менструаций, нерегулярности менструального цикла.

*Ключевые слова:* тревога, беспокойность, стресс, регулярность менструального цикла.

### Введение

Для нарушений менструального цикла в структуре гинекологических заболеваний варьирует от 5 до 30 % [1]. Стресс-зависимые нарушения менструального цикла (СНМЦ) представляют собой группу заболеваний/состояний, возникающих в результате стрессогенного воздействия и связанных с нарушением ритма менструаций или симптомами, ассоциированными с менструальным циклом [2].

В понятие стрессового фактора, способного вызвать СНМЦ, включают абсолютно разные по степени и длительности факторы. Это может быть «бытовой» стресс — изменение в привычном образе жизни (переезд, новое место работы, развод), так и чрезвычайно сильный фактор, который носит объективно катастрофический характер, к примеру, угроза жизни. Такой широкий спектр стрессовых факторов (от объективно легкого до тяжелейшего стресса) в повседневной жизни каждой женщины объясняет высокую частоту расстройств психогенного происхождения. Предменструальный

синдром (ПМС) определяется как наличие физических, поведенческих и эмоциональных симптомов, возникающих в лютеиновую фазу менструального цикла, исчезающих после менструации и влияющих на повседневную жизнь женщин [3,4]. Данная проблема является довольно распространенной, при этом, недооцененной во всем мире. ПМС во многом зависит от стрессового фактора, возникающего в жизни каждой женщины. Именно этот фактор в дальнейшем влияет на возникновение СНМЦ, что приводит к последующему развитию патологического состояния, связанных с репродуктивной системой женщины. При длительном воздействии патогенного фактора происходит срыв адаптации, и компенсаторно-приспособительный механизм трансформируется в механизм развития патологии. Расстройства менструаций в этой ситуации являются клиническим проявлением обменно-эндокринных и нейроэндокринных нарушений [5,6,7]. Доказано, что многие повреждающие эффекты сверхсильного воздействия обусловлены не самим стрессовым фактором, а реакцией человека на него [8]. Психическое состояние женщины тесно связано с проблемой бесплодия, невынашивания беременности, ее

осложненного течения, патологии родов [9]. Коморбидность психической и акушерско-гинекологической патологии значительно ухудшает медицинский и социальный прогноз у таких женщин [10].

Тревога у женщин наблюдается чаще всего. Это связано с тем, что женщины в отличие от мужчин чаще руководствуются эмоциями, кроме того, они подвержены гормональным колебаниям. Постоянная тревога может перерасти в хроническое состояние и отрицательно повлиять на репродуктивное здоровье женщины. Сбои менструального ритма, вызванные эмотивными факторами, значительно чаще встречаются у подростков и молодых женщин до 25 лет [11,12].

Таким образом, наше исследование направлено на определение связи между тяжестью ПМС и депрессией, тревогой и стрессом среди студенток медицинских и немедицинских учебных заведений.

#### Цель исследования

Изучить влияние уровня тревожности и его особенности на регулярность менструального цикла среди студенток медицинских и немедицинских учебных заведений.

#### Материалы и методы

Нами был разработан опросник для самостоятельного заполнения, состоявший из 16 вопросов (возраст; рост; вес; возраст начала менструаций; продолжительность менструального цикла; длительность менструации; объем менструальной кровопотери; регулярность менструального цикла; задержки менструаций; симптомы, связанные с менструацией; интенсивность болей во время менструации; эффективность анальгетиков; наличие заболевания репродуктивной системы; влияние стресса и эмоциональных факторов на менструальный цикл). Уровень тревожности оценивался по краткой версии шкалы депрессии, тревоги и стресса (Depression Anxiety and Stress Scale, DASS-21). Это кросс-секционное исследование проводилось в период с декабря 2022 года по февраль 2023 года. Проведено онлайн-анкетирование 110 женщин. Возраст опрошенных варьировал от 18 лет до 35 лет и в среднем (медиана) равнялся 21,0 [20,0; 22,0] году. У 29 (26,4 %) женщин был нерегулярный менструальный цикл. При статистической обработке данных производилось сравнение выборочных долей. Критерии включения: женщины репродуктивного возраста. Между тем, критерии исключения: беременность. Для сравнения средних значений количественных переменных использовали критерий Стьюдента для независимых выборок. Соответственно, корреляция Пирсона количественно определяла линейную связь между двумя количественными переменными.

#### Результаты

Беспокойство о ситуациях, в которых женщины могут запаниковать и выставить себя в неприглядном свете является самым частым показателем тревожности как у женщин с регулярным менструальным циклом — 72,8 %, так и с нерегулярным — 69,0 %. При этом максимальный балл по краткой версии шкалы DASS-21 с данным симптомом преобладает у женщин с нерегулярным циклом — 37,9 %, чем с регулярным — 19,8 %. Следующим показателем стоит чувство вот-вот начавшейся паники и составляет 67,9 % у женщин с регулярным циклом и 65,5 % — с нерегулярным менструальным циклом. Но, стоит обратить внимание на то, что максимальный балл в данном показателе все же преобладает у группы с нерегулярным циклом и составляет 27,6 %, чем с регулярным циклом — 11,1 %. Это показывает, что у женщин с нерегулярным менструальным циклом уровень максимальной паники и тревоги в 2 раза выше. Также по данным анкетирования можно отметить: ощущение сухости во рту чаще наблюдается у женщин с нерегулярным циклом — 65,5 %, в то время как с регулярным — 42,0 %. По результатам статистического исследования, можно говорить о том, что проблемы с сердцебиением при отсутствии физической нагрузки (учащенное или неровное сердцебиение) как у женщин с регулярным циклом, так и с нерегулярным циклом находятся приблизительно на одном уровне — 48,2 % и 48,3 % соответственно. Но в то же время максимальный балл по шкале DASS-21 дают женщины с нерегулярным циклом — 27,6 %, по сравнению с женщинами с регулярным циклом — 7,4 %. По сумме баллов шкалы DASS-21 нормальный уровень беспокойства (тревожности) чаще наблюдается у женщин с регулярным циклом: 63,7 % против 48,3 %. Также, по сумме баллов, сильное и чрезвычайно сильное беспокойство (15 и более баллов) женщины с нерегулярным циклом испытывают 2,2 раза чаще: 13,8 % против 6,2 % ( $p > 0,05$ ). Большинство женщин в обеих группах отмечают влияние стресса на менструальный цикл: 82,7 % и 89,7 % соответственно в группах с регулярным и нерегулярным циклом. Самым частым проявлением влияния стресса на цикл является задержка менструаций, на что указали 45,7 % женщин с регулярным циклом и 62,1 % женщин с нерегулярным циклом.

100 % опрошенных указали на наличие хотя бы одного из перечисленных симптомов ПМС. Анализ распределения количества симптомов: распределение не отличается от нормального (поэтому для анализа используем параметрические критерии).

Среднее количество симптомов 4,81 (95 % ДИ 4,46–5,16). Наличие от 1 до 5 симптомов (1 группа) — 76 человек (69,1 %). Наличие от 6 до 10 симптомов (2 группа) — 34 человека (30,9 %). Степень тяжести симптомов не учитывалось, поэтому мы не можем указать степень тяжести ПМС.

Средний балл тревожности 1 группа (1-5 симптомом ПМС) — 5,99 (95 % ДИ 4,95–7,03), средний балл тревожности 2 группа (6–10 симптомом ПМС) — 9,09 (95 % ДИ 7,11–11,07). Таким образом, уровень тревожности у женщин из первой группы на 3,10 (95 % ДИ 1,08–5,12) балла ниже, чем у женщин второй группы ( $p=0,0029$ ).

Подсчет результата по тревожности по DASS-21: 0–7 норма; 8–9 легкое беспокойство; 10–14 умеренное беспокойство; 15–19 сильное беспокойство; 20 и выше — чрезвычайно сильное беспокойство.

При корреляционном анализе выявлена положительная корреляционная связь слабой силы (коэффициент корреляции Пирсона  $r=0,418$  (95 % ДИ 0,250–0,561),  $p<0,0001$ ) между количеством симптомов ПМС и уровнем тревожности 110 опрошенных женщин.

### Заключение

Большинство женщин связывают наличие стресса и тревоги с нарушением менструального цикла, усилением симптомов ПМС, так как репродуктивное здоровье женщины — сложная и хрупкая система, которая быстро реагирует на любые неблагоприятные факторы, к которым в первую очередь относится стресс — как острый, так и хронический. Более того, следует тщательно изучить симптомы ПМС у женщин, испытывающих тревогу, сосредоточив внимание на повышении осведомленности общественности в данной проблеме, разработке психологической помощи и правил отпуска фармацевтических препаратов, используемых для лечения симптомов ПМС.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецова И.В., Коновалов В.А. Нарушения менструального цикла и их гормональная коррекция в контексте стрессозависимых психовегетативных расстройств. Медицинский совет. 2014; 9: 12–16.
2. Волель Б.А., Рагимова А.А., Бурчаков Д.И. и др. Стресс-зависимые нарушения менструального цикла. Consilium Medicum. 2016; 18 (6): 8–13.
3. Takeda T. Premenstrual disorders: Premenstrual syndrome and premenstrual dysphoric disorder. J Obstet Gynaecol Res. 2023 Feb;49(2):510–518. doi: 10.1111/jog.15484. Epub 2022 Nov 1. PMID: 36317488.
4. Андреева Е.Н., Абсатарова Ю.С. Предменструальный синдром: обзор литературы. Гинекология. 2019; 21 (2): 38–43.
5. Borisenko MYu, Uvarova EV. Current concepts of etiology and pathogenesis of secondary amenorrhea in adolescent girls (analytical review). Pediatric and adolescent reproductive health. 2016;4:27–47. (In Russian).
6. Nazish R., Al-Sheikh M.H. Prevalence of menstrual problems and their association with psychological stress in young female students studying health sciences // Saudi Med. J. 2018. Vol. 39. Ne 1. P. 67–73. [PMID: 29332111].
7. Andrawus M., Sharvit L., Atzmon G. Epi-genetics and pregnancy: Conditional snapshot or rolling event // Int. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23. №20. P. 12698. [PMID: 36293556].
8. Nikolaeva E.I. Psychophysiology. Psychophysiological physiology with the basics of physiological psychology. Moscow: PERSE Logos. 2003; 464 p. (in Russian).
9. Shani C, Yelena S, Reut BK, et al. Suicidal risk among infertile women undergoing in-vitro fertilization: Incidence and risk factors. Psychiatry Res. 2016 Jun 30;240:53–59. doi: 10.1016/j.psychres.2016.04.003. Epub 2016 Apr 8.
10. Weidner K, Zimmermann K, Neises M, et al. Effects of psychosomatic interventions within the consultation service of a gynecological university hospital. Psychother Psychosom Med Psychol. 2006 Sep-Oct;56(9-10):362-9.
11. Palm-Fischbacher S, Ehlert J. Dispositional resilience as a moderator of the relationship between chronic stress and irregular menstrual cycle. J Psychosom Obstet Gynaecol 2014; 2 (35): 42–50.
12. Nazish R., Al-Sheikh M.H. Prevalence of menstrual problems and their association with psychological stress in young female students studying health sciences // Saudi Med. J. 2018. Vol. 39. Ne 1. P. 67–73. [PMID: 29332111].

© Конопако Екатерина Алексеевна (katerina.konopako@mail.ru); Шавоева Хазал Саядиновна (Khazal.sh@mail.ru); Богомолова Юлия Алексеевна (Yuliya-botvineva@yandex.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И ИХ КЛИНИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ПРИ ОПЕРАЦИЯХ В УСЛОВИЯХ РЕТРОПНЕВМОПЕРИТОНЕУМА

## PATTERNS OF MICROCIRCULATORY CHANGES AND THEIR CLINICAL SIGNS IN RETROPERITONEAL SURGERIES

**Yu. Lobanov  
K. Shapovalov  
S. Lobanov  
L. Lobanov**

**Summary.** Background. In recent years the indications for retroperitoneal surgeries using retroperitoneal access under conditions of retroperitoneum (RPP) have significantly expanded, therefore, the study of organism reactions to this phenomenon is relevant.

**Purpose:** To study the dynamics of microcirculation during retroperitoneal surgeries in conditions of retroperitoneum.

**Material and methods:** The dynamics of microcirculation in 128 patients operated on renal cysts under different modes of RPP was studied. We measured 11 parameters of microcirculation using LAKK-02 device (LDF) (NPP «Lazma», Russia).

**Results:** it was found that the most important factor affecting the microcirculation parameters is the increased pressure mode in retroperitoneal space.

In the group with the most tense RPP (over 12 mm Hg) and longer operation there were systemic changes of microcirculation, as well as 4–5 times increased frequency of lower limbs edema in the postoperative period on the 2nd day.

**Conclusion.** All microcirculation changes are probably connected with the activation of compensation mechanisms in response to the obstruction of the main venous blood flow.

**Keywords:** retroperitoneum, microcirculation, micro blood flow, hypertension, retroperitoneal space.

**Лобанов Юрий Сергеевич**

к.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Читинская государственная  
медицинская академия»  
yurilobanov@mail.ru

**Шапвалов Константин Геннадьевич**

д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Читинская  
государственная медицинская академия»  
shkg26@mail.ru

**Лобанов Сергей Леонидович**

д.м.н., профессор, ФГБОУ ВО «Читинская  
государственная медицинская академия»  
slobanov15@mail.ru

**Лобанов Леонид Сергеевич**

к.м.н., доцент, ФГБОУ ВО «Читинская государственная  
медицинская академия»  
slobanov15@mail.ru

**Аннотация.** В последние годы значительно расширились показания к вмешательствам на забрюшинном пространстве с использованием ретроперитонеального доступа в условиях ретропневмоперитонеума (РПП), в связи с чем, изучение реакций организма на данный феномен является актуальным.

**Цель:** изучить динамику микроциркуляции при операциях на забрюшинном пространстве в условиях ретропневмоперитонеума.

**Материал и методы:** изучена динамика микроциркуляции у 128 пациентов, оперированных по поводу кист почек, при различных режимах РПП. Проводились измерения 11 параметров микроциркуляции, с помощью аппарата (ЛДФ) ЛАКК-02 (НПП «Лазма», Россия).

**Результаты:** обнаружено, что наиболее важным фактором, влияющим на показатели микроциркуляции, является повышенный режим давления в забрюшинном пространстве.

В группе с наиболее напряженным РПП (свыше 12 мм рт. ст.) и более длительной операцией наблюдались системные изменения микроциркуляции, а также в 4–5 раз возрастала частота отеков нижних конечностей в послеоперационном периоде на 2 сутки.

**Заключение.** Все изменения микроциркуляции возможно связаны с активацией механизмов компенсации в ответ на затруднение магистрального венозного кровотока.

**Ключевые слова:** ретропневмоперитонеум, микроциркуляция, микрокровоток, гипертония, забрюшинное пространство.

## Введение

Известно, что повышение давления в брюшной полости может сопровождаться рядом патологических феноменов [1, 2, 3]. Изучению данной проблемы способствовало развитие лапароскопических технологий. Установлено, что при длительных вмешательствах с наложением пневмоперитонеума и поддержании внутрибрюшного давления свыше 14 мм рт. ст. возникает ряд патофизиологических реакций, несущих опасность тромбоэмболических осложнений [2, 4]. Большинство острых заболеваний брюшной полости сопровождаются интраабдоминальной гипертензией (ИАГ), при этом тяжесть состояния и степень ИАГ, находятся в прямой зависимости [1, 5]. До недавнего времени проблеме ИАГ уделялось мало внимания, в последние годы, происходит активное изучение данного вопроса, и определение роли ИАГ в прогнозе течения заболевания. Особенно актуальным стал этот вопрос с появлением лапароскопических методов оперативного лечения различных заболеваний брюшной полости. Достаточно подробно изучалось влияние ИАГ на различные органы и системы организма [5]. Патологическое воздействие ИАГ на организм объяснялось воздействием на рецепторное поле брюшины, компрессию сосудов и органов, ограничение подвижности диафрагмы, давление на сердце, расстройство микроциркуляции и т.д. Однако кроме обширного раздела лапароскопической хирургии, в последнее время получил распространение относительно новый метод хирургического лечения — ретроперитонеоскопическая хирургия [6, 7, 8, 9]. Данный метод имеет основное отличие от традиционного лапароскопического тем, что происходит создание искусственной полости в забрюшинном пространстве, и поддержание её во время всей операции за счет инфуляции углекислого газа в забрюшинное пространство. При этом будет логичным предположить, что давление газа на органы и сосудистые структуры забрюшинного пространства может оказывать негативное влияние на их функцию и стать предиктором различных осложнений, в том числе, тромботических [9]. Патологическое влияние РПП на организм изучено недостаточно и требует проведения исследований в данном направлении с целью патофизиологического обоснования и определения безопасных границ поддерживаемого давления инфулируемого газа. Одним из актуальных вопросов, требующих изучения является влияние РПП на микроциркуляцию.

## Цель работы

Изучить динамику микроциркуляции при операциях на забрюшинном пространстве в условиях РПП.

## Материалы и методы

Проведены исследования у 128 пациентов, оперированных по поводу кист почек с использованием ре-

троперитонеоскопического оперативного метода. Критериями исключения являлось наличие сопутствующих заболеваний, при которых опасность вмешательства превышала 2 класс по классификации ASA. Операции проводились с использованием эндотрахеального наркоза. При ретроперитонеоскопических вмешательствах, в положении пациента на здоровом боку, первый троакар устанавливали в области 12 ребра, в забрюшинное пространство после предварительной диссекции тканей. При помощи раздуваемого баллона создавали полость в забрюшинном пространстве. После удаления баллона, устанавливали 2 дополнительных троакара, в подвздошной и подреберной области. Давление инфулируемого газа поддерживается и измеряется при помощи инфлятора фирмы Карл Шторц. Уровень давления выбирали исходя из анатомической ситуации, но не выше 16 мм рт. ст. Пациенты были разделены на 4 группы по 32 человека, в зависимости от длительности оперативного вмешательства и уровня давления, создаваемого во время операций. 1-я группа при длительности операции менее 30 минут, при давлении до 12 мм рт.ст. 2-я группа до 30 минут, при давлении 12–16 мм рт.ст. 3-я группа: продолжительность 30–60 минут, при давлении ниже 12 мм рт.ст. 4-я группа: 30–60 минут и 12–16 мм рт.ст.

Всем пациентам проводились измерения 11 параметров микрокровотока, с помощью аппарата (ЛДФ) ЛАКК-02 (НПП «Лазма», Россия) по стандартной методике [9]. С целью диагностики клинических признаков нарушения микроциркуляции проводили измерение диаметра нижних конечностей на уровне средней трети голени и средней трети бедра, в симметричных точках. Измерения проводили с помощью сантиметровой ленты перед операцией, затем на 3 и 5 сутки после операции. Увеличение объема конечности более 1,5 см на любом уровне от исходного считалось признаком нарушения микроциркуляции.

Математическая обработка данных проводилась с использованием программ Microsoft Office 2018, с применением параметрических (t-критерий Стьюдента) и не параметрических (критерий Манна-Уитни, хи-квадрат) критериев. Изменения частоты увеличения объема конечностей оценивались с помощью критерия  $\chi^2$  МакНемара. Количественные значения оценивались на нормальность распределения с использованием критерия Шапиро-Уилка. Критический уровень значимости при проверке гипотез  $p=0,05$ .

## Результаты и обсуждение

Выявлено, что в 1 и в 3 группе частота увеличения объема конечности более 1,5 см от исходного, была относительно низкой и составила 9,4 % и 15,6 % соответственно (табл. 1).

Таблица 1.  
Изменение окружности нижних конечностей в послеоперационном периоде

№ группы	Увеличение окружности нижних конечностей на 2 сутки после вмешательства	Увеличение окружности нижних конечностей на 5 сутки после вмешательства
1	3 (9,4 %) p>0,05	1(3,1 %)
2	17 (53,1 %) p<0,001 (χ <sup>2</sup> МакНемара)	12(37,5 %) p<0,001 (χ <sup>2</sup> МакНемара)
3	5 (15,6 %) p>0,05	3(9,4 %)
4	25 (78,1 %) p<0,001 (χ <sup>2</sup> МакНемара)	18(56,3 %) p<0,001 (χ <sup>2</sup> МакНемара)

p — статистически значимая связь между факторным и результативным признаками относительно исходных значений

Через двое суток после вмешательства в 3 и 4 группе, частота отёков выявлена у 53,1 % и 78,1 % пациентов (табл. 2). При анализе полученных данных становится очевидным, что наиболее часто отеки в послеоперационном периоде возникали в 4 группе, при большем уровне давления и продолжительности РПП. При этом ведущим фактором, является именно повышенное давление в забрюшинном пространстве. Фактор времени играет второстепенную роль. К 5 суткам происходит исчезновение отека у части больных, что вероятно связано с восстановлением микроциркуляции. Появление отёка нижних конечностей можно объяснить воздействием давления газа на органы забрюшинного пространства, а именно на подвздошную и полую вену, а также на лимфатические протоки. Кроме того, появление отёков нижних конечностей можно связать с ограничением подвижности диафрагмы и как следствием повышение внутригрудного давления, которое в свою очередь усугубляется использованием режима ИВЛ с положи-

тельным давлением в конце выдоха, отсюда снижается присасывающее действие грудного вакуума на лимфатические протоки. Так же на отток от нижних конечностей влияет положение больного, при котором могут подвергаться компрессии сосуды нижних конечностей, как артерии, так и вены. При этом, отёк может возникать, как при нарушении венозного оттока, так и компенсаторно после временной ишемии конечности за счёт накопления молочной кислоты в тканях. Во всех случаях пациентам при подозрении на тромбоз глубоких вен нижних конечностей проводилось дуплексное сканирование. Ни у одного из пациентов, входящих в исследование, не было выявлено тромбоза глубоких вен, отёки носили преходящий характер и исчезали к моменту выписки. Данные изменения свидетельствуют о заметном влиянии РПП на микрогемодинамику.

В первой и третьей группе при напряжении РПП ниже 12 мм.рт.ст., независимо от продолжительности операции, не выявлено значимых изменений микрокровотока (табл. 2).

Обнаружено, что при давлении в забрюшинном пространстве ниже 12 мм рт. ст. и при минимальной продолжительности РПП до 30 мин, показатель микроциркуляции (ПМ) снижается на 20,8 %, p=0.041354. (табл.3). Коэффициент вариации (Kv) падает на 41,2 %, p=0.019090, с одновременным повышением нейрогенного (НТ) и миогенного тонуса (МТ), соответственно на 29 и 32 %. При этом показатель шунтирования понижается на 53 %, p=0.000124, при отсутствии значимых изменений индекса эффективности микроциркуляции (ИЭМ).

При более значительном давлении РПП в забрюшинном пространстве (12–16 мм.рт.ст.) и максимальной длительности операции (30–60 мин) у пациентов 4 группы происходит снижение ПМ на 25 %, p=0.012353, Kv

Таблица 2.

Характеристика факторов микрокровотока при разных режимах РПП

Показатели		ПМ (показатель микроциркуляции пф.ед)	Kv, % (коэффициент вариации)	НТ (нейрогенный тонус)	МТ (миогенный тонус)	ПШ (Показатель шунтирования)	ИЭМ (индекс эффективности микроциркуляции)
Группа 1 (n=32)	До РПП	4,21±0,42	22,4±4,5	1,71±0,3	1,70±0,2	1,10±0,1	1,28±0,2
	После РПП	4,29±0,41 p>0,05	22,0±4,3 p>0,05	1,73±0,4 p>0,05	1,72±0,2 p>0,05	1,11±0,2 p>0,05	1,27±0,1 p>0,05
Группа 2 (n=32)	До РПП	4,24±0,33	22,4±2,7	1,66±0,1	1,68±0,1	1,09±0,1	1,25±0,2
	После РПП	3,34±0,28 p=0.041	13,2±2,5 p=0.019	2,14±0,2 p=0.036	2,21±0,2 p=0.021	0,51±0,1 p=0.001	1,11±0,2 p>0,05
Группа 3 (n=32)	До РПП	4,33±0,37	19,1±2,9	1,81±0,2	1,69±0,1	1,11±0,1	1,23±0,2
	После РПП	4,19±0,37 p>0,05	18,1±3,1 p>0,05	1,74±0,2 p>0,05	1,73±0,2 p>0,05	1,12±0,1 p>0,05	1,19±0,2 p>0,05
Группа 4 (n=32)	До РПП	4,21±0,31	21,0±3,2p>0,05	1,81±0,2	1,74±0,1	1,11±0,1	1,24±0,1
	После РПП	3,15±0,26 p=0.012	11,3±2,6 p=0.029	2,67±0,3 p=0.020	2,35±0,2 p=0.008	0,43±0,1 p=0.001	0,85±0,1 p=0.008

p — статистическая значимость относительно исходных значений

РПП — ретропневмоперитонеум

Таблица 3.

Характер колебаний диапазонов сосудистой стенки в зависимости от режимов РПП. (M±SD)

Показатели		Аэ, пф.ед (Амплитуда эндотелиальных колебаний)	Ан, пф.ед (Амплитуда нейрогенного диапазона)	Ам, пф.ед (Амплитуда миогенного диапазона)	Ад, пф.ед (Амплитуда дыхательного диапазона)	Ас, пф.ед (Амплитуда пульсового диапазона)
Группа 1 (n=32)	До РПП	0,46±0,08	0,41±0,08	0,34±0,03	0,24±0,02	0,15±0,02
	После РПП	0,47±0,07 p>0,05	0,34±0,07 p>0,05	0,35±0,02 p>0,05	0,27±0,02 p>0,05	0,14±0,01 p>0,05
Группа 2 (n=32)	До РПП	0,45±0,07	0,46±0,07	0,36±0,02	0,27±0,02	0,17±0,02
	После РПП	0,25±0,07 p=0.048	0,26±0,06 p=0.033	0,42±0,02 p=0.037966	0,17±0,02 p=0.000784	0,16±0,02 p>0,05
Группа 3 (n=32)	До РПП	0,42±0,07	0,42±0,07	0,33±0,02	0,26±0,03	0,14±0,03
	После РПП	0,39±0,06 p>0,05	0,40±0,06 p>0,05	0,31±0,02 p>0,05	0,27±0,02 p>0,05	0,15±0,02 p>0,05
Группа 4 (n=32)	До РПП	0,44±0,07	0,44±0,07	0,31±0,02	0,26±0,02	0,16±0,02
	После РПП	0,19±0,06 p=0.008686	0,22±0,06 p=0.020140	0,41±0,03 p=0.007347	0,14±0,02 p=0.000076	0,15±0,03 p>0,05

p — статистическая значимость относительно исходных значений.

РПП — ретропневмоперитонеум

на 45 %, при одновременном повышении НТ на 48 %  $p=0.020191$ . Следует отметить, что ПШ при этом опускается на 61%, а ИЭМ на 32 %. Данные изменения у пациентов 2 и 4 групп, свидетельствуют о снижении кровотока в тестируемой области, о нарушении регуляции микрососудов, повышении сопротивляемости микрокровотока, спазме артериол, открытии артериоло-венулярных анастомозов, что в свою очередь может сопровождаться гипоксией тканей, повреждением эндотелия сосудов, активации сосудисто-тромбоцитарного гемостаза и повышением риска тромбообразования. Все изменения микроциркуляции возможно связаны с активацией механизмов компенсации в ответ на затруднение магистрального венозного кровотока.

При изучении характера максимальных отклонений колебаний сосудистой стенки установлено, что показатель Аэ в 1,8 раза ниже ( $p=0.047749$ ) во 2-группе, и в 2,3 раза ( $p=0.008686$ ) в 4 группе. Характер изменений в эндотелиальном диапазоне колебаний, вероятно, связан со снижением секреции оксида азота, а также возможным выбросом эндотелина-1, эндотелиальными клетками, что отражает работу механизмов саморегуляции кровотока (табл. 4). Колебания в нейрогенном диапазоне снижались в 1,7 раза во 2-й группе больных ( $p=0.033966$ ), в 2 раза в 4 группе ( $p=0.008686$ ). Подобные изменения в нейрогенном диапазоне свидетельствуют о возникновении спазма артериол вследствие воздействия РПП на микроциркуляцию. Аналогичные данные получены при изучении периферического кровообращения при лапароскопических операциях с различными режимами пневмоперитонеума, что свидетельствует, вероятно, об общих механизмах нарушения микроцир-

куляции, как при абдоминальной, так и забрюшинной гипертензии [5, 9].

Установлено увеличение миогенных колебаний в диапазоне на 16,6 % во 2 группе ( $p=0.037966$ ), на 32,2 % в 4 группе ( $p=0.007347$ ). В дыхательном диапазоне происходит снижение колебаний на 58,8 % во 2 группе ( $p=0.000784$ ), на 85,7 % в 4 группе ( $p=0.000076$ ). Изменений в сосудистом диапазоне колебаний не выявлено не в одной из групп. Создание искусственной полости в забрюшинном пространстве с последующей компрессией более 12 мм рт. ст., сопровождается давлением на подвздошные сосуды, что затрудняется прохождение пульсовой волны и приводит к снижению колебаний в дыхательном диапазоне.

Характер колебаний сосудистых стенок максимальных амплитуд значимо не отличался в 1 и 3 группах у пациентов, при компрессии менее 12 мм рт. ст. Таким образом, возникновение отёка нижних конечностей во 2 и 4 группах, вероятно связано с выраженным снижением показателя шунтирования, что сопровождается повышением давления в капиллярном русле.

Таким образом, РПП, используемый для выполнения оперативных вмешательств в забрюшинном пространстве, оказывает выраженное влияние на функционирование микроциркуляторного русла, сопровождается временной гипергидратацией тканей и формированием отёков, а также может приводить к повышению риска тромботических осложнений.

## Выводы

Изменения при режиме РПП, свыше 12 мм рт. ст, свидетельствуют о системных изменениях микроциркуляции, что в свою очередь может сопровождаться гипоксией тканей, повреждением эндотелия сосудов, активацией сосудисто-тромбоцитарного гемостаза и повышением риска тромбообразования. Уровень давления CO<sub>2</sub> в за-

брюшинном пространстве при создании и поддержании ретропневмоперитонеума выше 12 мм. рт. ст. в 4–5 раз чаще приводит к возникновению отёков нижних конечностей по сравнению с режимом ниже 12 мм рт. ст.

*Конфликт интересов.* Авторы данной статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гельфанд Б.Р., Проценко Д.Н., Подачин П.В., Чубченко С.В., Лапшина И.Ю. Синдром интраабдоминальной гипертензии: состояние проблемы. Медицина неотложных состояний. 2015; 7 (70): 41–50.
2. Gray S.; Christensen M.; Craft J. The gastro-renal effects of intra- abdominal hypertension: Implications for critical care nurses. Intensive Crit. Care Nurs. 2018; 48: 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.iccn.2018.06.001>.
3. Rogers W.K., Garcia L. Intraabdominal hypertension, abdominal compartment syndrome, and the open abdomen. Chest. 2018;153(1):238–250. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2017.07.023>
4. Reintam Blaser A., Regli A., De Keulenaer B. Incidence, risk factors, and outcomes of intra-abdominal hypertension in critically ill patients — a Prospective Multicenter Study (IROI study). Crit Care Med. 2019;47(4):535–542. <https://doi.org/10.1097/CCM.0000000000003623>.
5. Лобанов Ю.С., Лобанов С.Л., Шаповалов К.Г. Изменение микроциркуляции при интраабдоминальной гипертензии в хирургии // Новости хирургии. 2018, № 4 с.465–472.
6. Lombardo R. Retroperitoneoscopy in urology: a systematic review. Minerva Urol Nefrol. 2019; Jan 2: 71(1) 9–16. <https://doi.org/10.23736/S0393-2249.18.03235-6>.
7. De Crea C, Raffaelli M, D'Amato G. Retroperitoneoscopic adrenalectomy: tips and tricks. Updat Surg. 2017;69(2): 67–70. <https://doi.org/10.1007/s13304-017-0469-1>
8. MacDonald C. Predictors of complications following retroperitoneoscopic total and partial nephrectomy. J Pediatr Surg. 2019 Feb; 54(2): 331–334. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2018.10.097>.
9. Лобанов Ю.С., Шаповалов К.Г. Динамика периферической микроциркуляции и признаки венозной недостаточности при различных режимах интраоперационного пневмоперитонеума. Забайкальский медицинский вестник, 2015, №4, с.87–91.

© Лобанов Юрий Сергеевич (yurilobanov@mail.ru); Шаповалов Константин Геннадьевич (shkg26@mail.ru);  
Лобанов Сергей Леонидович (slobanov15@mail.ru); Лобанов Леонид Сергеевич (slobanov15@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ВНЕКЛЕТОЧНЫЕ ВЕЗИКУЛЫ В ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИИ ГЕМОРРАГИЧЕСКОГО ИНСУЛЬТА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

## EXTRACELLULAR VESICLES IN DIAGNOSIS AND TREATMENT OF HEMORRHAGIC STROKE (LITERATURE REVIEW)

**I. Lomova  
M. Tikhonova**

**Summary.** The review presents recent research data devoted to the study the role of extracellular vesicles (EV) in hemorrhagic stroke (HI). The relevance of the search for new approaches to solving the problem of intracerebral hemorrhage (ICH) is highlighted, with an emphasis on new possibilities for limiting intracerebral hematoma using erythrocyte EVs, as well as the role of EVs in secondary inflammation and brain regeneration after HI. The influence of endothelial and blood cell EVs on the development of cerebral vasospasm and secondary ischemic stroke against the background of subarachnoid hemorrhage, as well as possible ways to block the action of pathogenic EVs, are separately considered. The importance of vesicular microRNAs in the differential diagnosis of hemorrhagic and ischemic stroke was noted, which, if HI is excluded, will speed up the provision of reperfusion therapy already in emergency care. The potential role of EVs, including those from mesenchymal stem cells, was noted in the delivery of regenerative agents across the BBB into the damaged brain and increasing neuroplasticity after HI.

**Keywords:** hemorrhagic stroke, extracellular vesicles, intracerebral hemorrhage, subarachnoid hemorrhage, cerebral vasospasm, microRNA of extracellular vesicles, hematoma growth, hemostatic therapy, regeneration, mesenchymal stem cells.

**Ломова Ирина Павловна**

кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник НИЛ цереброваскулярной патологии научно-исследовательского центра ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург  
irpalo@mail.ru

**Тихонова Маргарита Борисовна**

Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени акад. И.П. Павлова  
atsuna@mail.ru

**Аннотация.** В обзоре представлены данные исследований последних лет, посвященные изучению роли внеклеточных везикул (ВВ) при геморрагическом инсульте (ГИ). Освещена актуальность поиска новых подходов к решению проблемы внутримозгового кровоизлияния (ВМК) с акцентом на новые возможности ограничения внутримозговой гематомы с помощью эритроцитарных ВВ, а также роль ВВ во вторичном воспалении и регенерации головного мозга после ГИ. Отдельно рассмотрено влияние ВВ эндотелия и клеток крови на развитие церебрального вазоспазма и вторичного ишемического инсульта на фоне субарахноидального кровоизлияния, а также возможные пути блокирования действия патогенных ВВ. Отмечено значение везикулярных микроРНК в дифференциальной диагностике геморрагического и ишемического инсульта, что, при исключении ГИ, ускорит оказание реперфузионной терапии уже в условиях скорой помощи. Отмечена потенциальная роль ВВ, в том числе из мезенхимальных стволовых клеток, в доставке регенеративных агентов через ГЭБ в поврежденный мозг и в повышении нейропластичности после ГИ.

**Ключевые слова:** геморрагический инсульт, внеклеточные везикулы, внутримозговое кровоизлияние, субарахноидальное кровоизлияние, церебральный вазоспазм, микроРНК внеклеточных везикул, рост гематомы, гемостатическая терапия, регенерация, мезенхимальные стволовые клетки.

### Введение

В последнее десятилетие отмечается огромный прогресс в диагностических и терапевтических возможностях при цереброваскулярных заболеваниях (ЦВЗ). На основании более глубокого понимания патологических механизмов, лежащих в основе ЦВЗ, были определены новые диагностические направления, терапевтические мишени и разработаны новые стратегии лечения [1].

Геморрагический инсульт (ГИ) является наиболее разрушительной формой инсульта, с уровнем смертности до 40 % и наибольшей потерей лет жизни с поправкой на инвалидность среди выживших. Каждый год примерно 5 миллионов человек во всем мире перено-

сят ГИ, две трети из которых выживают с инвалидностью [2]. В 2019 году 6,6 миллиона смертей во всем мире были вызваны инсультом. Из них 3,3 миллиона были связаны с ишемическим инсультом, 2,9 миллиона — с внутримозговым кровоизлиянием и 0,4 миллиона — с субарахноидальным кровоизлиянием [3]. ГИ составляют около 13 % инсультов и возникают в результате разрыва сосудов в головном мозге, иногда из-за аневризмы или артериовенозной мальформации. Развитие ГИ также тесно связано с артериальной гипертензией, церебральной амилоидной ангиопатией и антикоагулянтной терапией, которые сопряжены с риском кровоизлияния в мозг [4]. У пациентов с прогрессирующей гипертензией в стенке перфорирующих ветвей сосудов возникает гиперплазия интимы с гиалинизацией, называемая «псевдоаневризмами» [5], что предрасполагает их к очаговому некро-

зу и разрыву стенки сосуда. Гипертензивный ГИ чаще встречается в подкорковых структурах — скорлупе, таламусе и мосте [6].

В последнее время, благодаря непрерывным исследованиям внеклеточных везикул (ВВ), мембранных наночастиц, выделяемых при активации, стрессе и повреждении всеми клетками организма, значительно повысилось признание их роли в патогенезе ЦВЗ [7]. ВВ можно разделить на основе их размера и биогенеза. Экзосомы, самые маленькие ВВ, имеют диаметр от 30 до 150 нм, генерируются внутриклеточно из многовезикулярных тел и высвобождаются во внеклеточное пространство. ВВ среднего размера, которые образуются путем отпочковывания от плазматической мембраны, диаметром от 100 до 1000 нм, известны как микровезикулы или эктосомы. ВВ конститутивно высвобождаются с поверхности клеток, но их образование может быть усилено клеточной активацией [8]. В настоящее время проточная цитометрия является наиболее распространенной технологией для исследования ВВ. Помимо этого, также применяются такие методы исследования ВВ, как электронная микроскопия, масс-спектрометрия и анализ отслеживания наночастиц. ВВ часто классифицируются в соответствии с их поверхностными белками. Они включают в основном трансмембранные или липидсвязанные белки: 1) тетраспанины, такие как CD63, CD9 и CD81; 2) интегрины и молекулы клеточной адгезии; 3) рецепторы фактора роста; 4) гетеротримерные G-белки; 5) фосфатидилсеринсвязывающие белки. [9]. ВВ также являются носителями различных типов РНК, среди которых микроРНК была тесно связана с ССЗ [10]. МикроРНК представляют собой короткие некодирующие РНК, которые регулируют экспрессию генов на посттранскрипционном уровне [11]. В периферическом кровообращении ВВ отвечают за защиту микроРНК от деградации циркулирующими рибонуклеазами [12]. ВВ, высвобождаемые во внеклеточное пространство, могут передавать информацию соседним или удаленным клеткам, воздействуя на рецепторы, и/или интернализироваться посредством эндоцитоза, фагоцитоза или прямого слияния с клетками, доставляя свои «грузы» в цитозоль и изменяя физиологическое состояние клеток-реципиентов, тем самым способствуя патофизиологическим изменениям. ВВ могут передавать генетическую информацию, индуцируя транзиторные или стойкие модификации в клетках-реципиентах [13]. Обнаружено также, что происхождение, количество и внутреннее содержание (нуклеиновые кислоты, белки и липиды) ВВ изменчивы при различных ЦВЗ. ВВ, полученные из крови, могут использоваться для различения типов инсульта, а также для определения динамики и прогноза ЦВЗ [14,15].

#### Внутричерепное кровоизлияние

При внутричерепном кровоизлиянии (ВМК) образование гематомы ведет к повышению внутричерепного

давления, повреждению гематоэнцефалического барьера (ГЭБ), отеку мозга, апоптозу нейронов и неврологической дисфункции. Объем гематомы является наиболее сильным предиктором инвалидизации и смертности после ВМК. 30-дневная смертность пациентов с объемом гематомы > 60 мл (при глубоких и долевыми кровоизлияниями) составила 93 % и 71 % соответственно; при объеме 30–60 мл смертность составляла 64 % и 60 %, соответственно; при объеме <30 мл смертность составила 23 % и 7 %, соответственно. [17]. ГИ представляет значительный риск, поскольку повышенное давление приводит к масс-эффекту и опасным для жизни событиям, таким как смещение и вклинение головного мозга [18].

Вторичное повреждение головного мозга развивается из-за воспаления, окислительного стресса или цитотоксичности, вызванной лизатами эритроцитов. В настоящее время клинически применяемые терапевтические средства для лечения такого вторичного повреждения головного мозга недоступны. [17]. После ГИ в течение нескольких дней происходит диapedез нейтрофилов и активируется микроглия. Образование свободных радикалов может способствовать повреждению головного мозга, вызванному дисбалансом железа [19]. Кроме того, разрушение гематоэнцефалического барьера из-за токсического воздействия красных кровяных телец и /или продуктов распада гемоглобина приводит к увеличению содержания воды в мозге в области геморагии, что приводит к отеку и нарастанию повреждения мозга [20].

Недавние достижения в исследованиях ВВ показали преимущественное высвобождение ВВ из определенных типов клеток в зависимости от типа инсульта, этапа заболевания. Некоторые из высвобождаемых ВВ были связаны с повышенным нейровоспалением, микросудистой дисфункцией и нейрональной цитотоксичностью, в то время как другие предлагали определенную степень нейропротекции [21]

#### Значение ВВ для ограничения роста гематомы

Ограничение роста гематомы является многообещающим терапевтическим подходом. Влияние ВВ на гемостатический процесс обусловлено их прокоагулянтной поверхностью, появляющейся в процессе их образования вследствие экстернализации анионных фосфолипидов, главным образом фосфатидилсерина (ФС), которые способствуют сборке и активации теназных и протромбиназных комплексов. Таким образом, ВВ представляют собой фрагменты мембраны, сдерживающие фосфолипид-прокоагулянт ФС, который служит каталитической поверхностью для комплексного образования факторов свертывания крови как по внешнему, так и по внутреннему пути гемостаза [22]. ВВ, полученные из эритроцитов

(ЭрВВ), являются новыми активными гемостатическими средствами, что подтверждено в исследованиях с использованием интегрального теста гемостаза — тромбодинамики. Выявлено, что при концентрациях, превышающих 500·10<sup>6</sup> /μl, микрочастицы эритроцитов увеличивали скорость роста стационарного сгустка до значительно более высоких уровней, чем микрочастицы тромбоцитов или искусственные фосфолипидные везикулы, состоящие из фосфатидилхолина и фосфатидилсерина [23]. Ashish K Rehni et al изучили потенциал ЭрВВ в ограничении роста гематомы и улучшении результатов после операции при ВМК [24]. Выявлено, что введение ЭрВВ снижает скорость кровотечения на экспериментальных моделях, а присутствие ЭрВВ ускоряет свертывание крови *in vitro* в крови нормальных людей, а также субъектов, страдающих нарушениями свертываемости [22]. Наблюдали, что лечение ЭрВВ эффективно ограничивает размер гематомы, когда оно начато уже через 4,5 ч после операции у крыс.

По сравнению с применением для лечения в качестве гемостатического средства рекомбинантного FVIIa (rFVIIa), использование ЭрВВ было предпочтительно по нескольким причинам. В то время как прокоагулянтная активность rFVIIa опосредована активацией тканевого фактора [25], ЭрВВ не содержат тканевого фактора и с наименьшей вероятностью вызывают тромбоз [26]. Во-вторых, ЭрВВ усиливают как тромбоцитарный, так и коагуляционный гемостаз, в то время как rFVIIa усиливают только коагуляционный гемостаз [25]. Кроме того, ЭрВВ оказывают прокоагулянтное действие широкого спектра, активируя больше факторов свертывания крови, чем rFVIIa [27].

Предыдущие исследования показали, что период полураспада ЭрВВ в крови короткий (≈90 секунд), и ЭрВВ изолируются в основном в печени и селезенке. Введение ЭрВВ крысам не оказывает вредного воздействия на физиологические параметры или тромбоз в жизненно важных органах [28]. Лечение ЭрВВ в течение 2-часового периода с использованием болюса и инфузии оказало максимальный терапевтический эффект на уменьшение роста гематомы после ВМК. Лечение ЭрВВ существенно не модулирует уровни D-димера в плазме, что указывает на отсутствие тромботических осложнений после терапии ЭрВВ. В клинической практике у пациентов, у которых наблюдается увеличение гематомы, её рост снижается за 3–6 часов после начала ВМК [29]. Поскольку ЭрВВ были эффективны при ограничении роста гематомы в эксперименте при введении препарата в течение 4,5 часов после операции, ожидается, что ЭрВВ будут эффективны у большой группы пациентов. Тем не менее, перед их клиническим применением необходимы подробные последующие исследования.

### Роль ВВ при вторичном повреждении мозга после ВМК

Вторичное воспалительное повреждение способствует ухудшению клинических исходов, и лейкоциты, в частности, их подтип-моноциты, имеют особое значение. В 2 независимых группах пациентов с ВМК было обнаружено, что более высокое количество моноцитов было связано с 30-дневным летальным исходом [30]. Известно, что моноциты включают подтипы моноцитов / макрофагов M1 и M2 с различными свойствами. Клетки M1 участвуют в острых воспалительных путях, тогда как макрофаги M2 преимущественно секретируют противовоспалительные медиаторы в условиях острого воспаления. Более высокое соотношение M1/M2 подразумевает более воспалительную среду, в то время как низкое соотношение M1/M2 предполагает среду для репарации, регенерации [31].

В одноцентровом проспективном обсервационном исследовании K.B. Walsh et al. были зарегистрированы последовательные случаи ВМК в течение 12 часов после появления симптомов. Также отобраны контрольные группы, соответствующие возрасту (±5 лет), расе и полу, оценено количество моноцитарных ВВ (МВВ): M1 и M2. Сравнивали показатели МВВ M1 и M2 в разных случаях и в контроле. В исследование были включены 19 пар ВМК «случай-контроль». Медианное количество M1 МВВ существенно не отличалось между случаями ВМК (8,63 × 10<sup>7</sup> /миллилитр (мл)) по сравнению с контролем (8,64 × 10<sup>7</sup> /мл), (P = 0,525). Медианное количество МВВ M2 было значительно выше в случаях ВМК (1,61 × 10<sup>6</sup> /мл), по сравнению с контролем (4,46 × 10<sup>5</sup> /мл) (P = 0,027). Пришли к выводу, что более высокое количество МВВ M2 в случаях ВМК по сравнению с контролем отражает развитие хронического воспалительного статуса у пациентов с ВМК, клеточной активации или апоптоза. Необходимы дальнейшие исследования, включая серийные пробы плазмы, для выяснения патофизиологии МВВ после ВМК [32].

В двух исследованиях были обнаружены повышенные уровни циркулирующих аннексин-V-позитивных ВВ (содержащих анионный ФС на своей поверхности) у пациентов с ГИ по сравнению с контролем [33,34]. В более подробном исследовании Lackner et al. обнаружено повышенное количество ВВ, происходящих из эндотелия (CD105+, CD106+, CD54+ или CD62e+), лейкоцитов (CD45+) и эритроцитов (CD235+) у пациентов с ГИ [35]. Эти результаты были подтверждены Sanborn et al., которые также обнаружили временно повышенные уровни аннексин-V-позитивных субпопуляций ВВ как нейтрофильного (CD66b+), так и эритроцитарного (CD235a+) происхождения. Кроме того, уровень ВВ, полученных из эндотелиальных клеток (CD146+), ТФ-положительных (CD142+), был повышен в течение всего 10-дневного периода наблюдения [36].

С другой стороны, предполагается, что циркулирующие ВВ участвуют в усилении путей восстановления после инсульта посредством паракринной передачи сигналов. Чтобы проверить эту гипотезу в исследовании, полученные из крови аллогенные ВВ от крыс и ксеногенные ВВ от людей, у которых наблюдалось спонтанное хорошее выздоровление после ВМК, вводили крысам внутривенно через 24 ч после подкоркового ВМК. Через 28 дней при обоих методах лечения отмечали улучшение показателей по шкале оценки двигательной функции животных, выявили большую сохранность волокон в окружающей очаг зоне мозга (при МРТ с диффузионно-тензорной анизотропией), обнаружили повышенные уровни маркеров иммунофлуоресценции миелина (MOG) и снижение маркеров астроцитов (GFAP) по сравнению с контролем. Сравнение белкового содержимого циркулирующих ВВ через 28 дней от животных с хорошим и плохим восстановлением показало, что снижение экспрессии путей активации иммунной системы (CO4, KLKB1, PROC, FA9 и C1QA) и усиление восстановительных процессов, таких как направление аксонов (RAC1), миелинизация (MBP) и синаптический транспорт везикул (SYN1) соответствует лучшей сохранности тканей. Повышенная экспрессия PCSK9 (дифференцировка нейронов) у животных, получавших ксеногенные ВВ, предполагает усиление путей репарации. Таким образом, введение полученных из крови ВВ улучшило выздоровление после ВМК. Эти результаты открывают новую и многообещающую возможность для дальнейшего развития восстановительной терапии для улучшения результатов после ВМК [37]. Исследование Cui H.J et al подтвердило способность ВВ, выделенных из эндотелиальных клеток-предшественников, способствовать ангиогенной репарации и восстановлению функций [38]. Недавно также было подтверждено, что специфичная для ВВ эндотелиальных клеток микроРНК, miR-126, индуцирует ангиогенез после ВМК [39]. Eun Chae Lee et al подтвердили, что miR-126 способствует ангиогенезу после ВМК в ответ на ангиогенные факторы роста, включая VEGF или фактор роста фибробластов. Избыточная экспрессия miR-126 дополнительно подтверждает его потенциальный ангиогенный эффект [40].

#### **ВВ при субарахноидальном кровоизлиянии, при развитии церебрального вазоспазма**

Субарахноидальное кровоизлияние (САК) является серьезной проблемой. В целом, уровень смертности, связанный с САК, составляет от 32 % до 67 %, что делает его наиболее летальным типом геморрагического инсульта [41,42]. После результатов успешности лечения разорвавшейся аневризмы, церебральный вазоспазм является основной причиной инвалидности и смертности, связанных с САК. Спазм сосудов головного мозга — это очень сложное, недостаточно изученное явление, которое усугубляет неврологические исходы при ГИ.

Известно, что механизмы, лежащие в основе вазоспазма (ВС), указывают на различные патологические процессы, но методы лечения, нацеленные на эти пути, были малоэффективными. Поэтому необходимо изучить механизм ВС с новой точки зрения. Появление ВВ дает нам новый ключ к пониманию ВС. Общей характеристикой ВВ являются их динамические свойства в биологических жидкостях, где они могут взаимодействовать с контактирующими клетками. Эффекты ВВ разного происхождения сильно различаются. Воздействие ВВ в большей степени связано с аномальной сосудистой активностью, возникающей в результате повреждения эндотелия. Влияние ВВ на сосудистую активность было отражено в регуляции сосудорасширяющих веществ, таких как NO [43]. Было также показано, что ВВ, полученные из активированных эндотелиальных клеток, могут передавать дисфункцию другим эндотелиальным клеткам-реципиентам, например, снижая биодоступность оксида азота (NO) или нарушая эндотелий-зависимую вазорелаксацию [44]. Предыдущие исследования ВС были сосредоточены на сокращении гладкой мускулатуры, воспалении, тромбозе, распространяющейся деполяризации. Методы лечения, основанные на этих теориях не показали удовлетворительных результатов. Терапевтические методы, такие как применение блокаторов эндотелина, блокаторов кальциевых каналов значимо не улучшали неврологические исходы. Поэтому требуется новый подход для изучения механизмов церебрального ВС [46].

P.Lackner et al предположили, ВВ играют роль в патогенезе ВС и могут служить биомаркерами ВС. Они оценивали у 20 пациентов с САК эндотелиальные, лейкоцитарные, тромбоцитарные и эритроцитарные ВВ в течение 15 дней от начала ГИ. Скорость мозгового кровотока (CBF) оценена при транскраниальной доплерографии. 20 здоровых пациентов наблюдались в контроле. Выявили, что эндотелиальные, лейкоцитарные, эритроцитарные ВВ были повышены у пациентов с САК, по сравнению с контролем. CD105(+) и CD62e(+) эндотелиальные ВВ были значительно выше у пациентов с САК с высокими показателями CBF, свидетельствующими о выраженности ВС. CD105(+) эндотелиальные ВВ особенно нарастали во время пика CBF по доплерографическим показателям. У пациентов с ишемическим инсультом, развившимся на фоне вазоспазма, CD41(+) тромбоцитарные ВВ были повышены в дополнение к эндотелиальным ВВ. CD41(+) тромбоцитарные ВВ были значительно выше у пациентов с развившимися неврологическими проявлениями инвалидности (modified Rankin Scale score  $\geq 1$ ) по сравнению с теми, у кого было полное восстановление (modified Rankin Scale score=0) при выписке из стационара. Таким образом, эндотелиальные ВВ были повышены у пациентов с САК, их повышение отмечалось на фоне повышенной линейной скорости кровотока при транскраниальной доплерографии, и может быть новым биомаркером ВС. Тромбоцитарные ВВ могли

быть вовлечены в патогенез церебрального инфаркта на фоне вазоспазма, что приводило к неврологическим нарушениям [35].

ВВ содержат множество биологически активных веществ, таких как матриксные металлопротеиназы и активные формы кислорода, которые усложняют их роль в качестве функциональных медиаторов. Трудно заблокировать эти сложные процессы с помощью лечения только воспаления, окислительного стресса или других таргетных методов. Из-за дифференцированной структурной и многомерной активности ВВ все еще существуют нерешенные проблемы, требующие решения при применении фундаментальных исследований для клинической трансляции. Первоочередной проблемой является характеристика подтипов ВВ и биологически активных веществ. Второй способ заключается в блокировании взаимодействий между ВВ и клетками-мишенями. Поэтому, во-первых, технология протеомики может оказать поддержку в идентификации патогенных факторов, содержащихся в ВВ. Во-вторых, может оказаться многообещающим разработать белки, поглощающие/блокирующие ВВ, для предотвращения ВС. При исследовании ВВ ликвора во время вазоспазма было выделено более 140 белков. Magdalena M Przybycien-Szymanska et al. определили конкретные белки-кандидаты, которые потенциально могут служить ранними биомаркерами ВС после САК: снижалась регуляция ApoE, ApoD, белка синаптической ядерной оболочки 1, кластерина,  $\alpha$ -1-кислого гликопротеина, ингибитора протеазы С1 плазмы и изомеразы простагландина H2d. Гаптоглобин, цепи фибриногена  $\alpha$  и  $\gamma$ , белок синаптической ядерной оболочки 2 и субъединицы  $\alpha$  и  $\beta$  гемоглобина были активированы. Некоторые из этих белков связаны с иммунными и метаболическими процессами, а некоторые были специфически связаны с цереброваскулярными заболеваниями [42].

Присутствие отрицательно заряженного ФС на поверхности является общей чертой многих ВВ и может служить мишенью для блокирования их эффектов. Zhou et al. продемонстрировали, что лактадгерин (эпидермальный фактор роста глобул молочного жира 8), белок, поглощающий ВВ, может значительно уменьшить коагулопатию, вызванную ВВ у мышей с черепно-мозговой травмой (ЧМТ), путем усиления ФС-опосредованного фагоцитоза [45]. Это первый случай, когда очищающий эффект лактадгерина на ВВ был использован для лечения вторичных повреждений, вызванных ВВ, и показал хорошие результаты.

Этот подход стоит исследовать дальше, и он может быть эффективным для всех чрезмерно опасных ВВ, потому что он зависит от присутствия ФС, а не биомаркеров. В исследовании Y. Gao et al. проведено обобщение знаний о динамике ВВ in vivo и выявление их причин-

ной роли в возникновении и развитии церебрального вазоспазма. Обнаружили, что различные ВВ проявляют динамические характеристики в жидкостях организма и прямо или косвенно влияют на церебральный вазоспазм или провоцируют его. Из-за различных веществ, переносимых ВВ из разных клеток, существуют также различия в механизмах, которые приводят к нарушению вазомоторной функции. Y. Gao et al. предполагают, что поглотители микрочастиц могут быть многообещающим терапевтическим методом против осложнений, связанных с ВВ при церебральном вазоспазме [46].

### Значение везикулярных микроРНК в диагностике подтипов инсульта

Kalani M.Y.S. et al стремились идентифицировать находящиеся в крови внеклеточные микроРНК, полученные из ВВ, ассоциированные с основными подтипами инсульта, используя клинические образцы, взятые у субъектов со спонтанным внутримозговым кровоизлиянием (ВМК, n=19), аневризматическим субарахноидальным кровоизлиянием (САК, n=17) и ишемическим инсультом (ИИ, n=21). Исследователи выделили РНК из ВВ плазмы, секвенировали 20 малых РНК и провели биоинформационный анализ, чтобы идентифицировать биомаркеры микроРНК, характерные для разных подтипов инсульта. Выявлено 67 микроРНК, которые значительно различались в зависимости от подтипа инсульта. Подмножество микроРНК различалось между геморрагическим и ишемическим инсультами, и регрессионный анализ LASSO позволил отличить САК от других подтипов с точностью  $0,972 \pm 0,002$ . Дальнейшие анализы предсказали 25 классификаторов микроРНК, которые стратифицируют ВМК от ИИ с точностью  $0,811 \pm 0,004$  и отличают ГИ от ИИ с точностью  $0,813 \pm 0,003$ . МикроРНК, выделенные из ВВ крови, обладают прогностической ценностью и могут быть способны различать основные подтипы инсульта с уточнением и валидацией. Такой биомаркер однажды может помочь в сортировке пациентов в условиях скорой помощи, чтобы, исключив ГИ, незамедлительно приступить к реперфузионной терапии [15]. Требуются дальнейшие многоцентровые исследования в этом направлении.

### ВВ стволовых клеток в перспективном лечении ГИ

Терапия на основе мезенхимальных стволовых клеток (МСК) в последнее время стала привлекательной и многообещающей стратегией лечения ВМК посредством иммунной регуляции и регенерации тканей. Однако накопленные исследования показали, что терапевтические эффекты на основе МСК в основном объясняются их паракринными свойствами, особенно благодаря небольшим ВВ, которые считаются ключевыми медиаторами защитной эффективности МСК [47]. Хотя МСК рассматриваются как перспективные методы лечения ГИ,

и большое количество исследований подтвердили улучшение исходов на моделях ВМК с помощью МСК, однако это лечение несет в себе риски онкогенности и иммунного отторжения [48]. Дальнейшие исследования показали, что МСК в основном действуют через паракринные механизмы, в которых ВВ являются ключевыми медиаторами их действия [49]. Кроме того, ВВ обладают преимуществами преодоления биологического барьера (ГЭБ), удобного хранения и транспортировки, удовлетворительной биобезопасности, по сравнению с МСК.

Множественные источники сообщают, что ВВ, полученные из МСК могут улучшить прогноз ВМК путем ингибирования апоптоза нейронов, уменьшения нейровоспаления и подавления дифференцировки клеток. ВВ, полученные из miR-133b модифицированных МСК, могут снижать апоптоз нейронов после ВМК путем ингибирования экспрессии RhoA и активации ERK1/2/CREB in vitro [50]. ВВ, полученные из МСК костного мозга, были перенесены в нейроны при субарахноидальном кровоизлиянии на мышинной модели и с помощью везикулярной miR-21 повысили выживаемость нейронов и привели к уменьшению неврологических нарушений при САК [51].

ВВ из МСК могут доставлять микроРНК, белки или другое содержимое для усиления противовоспалительного эффекта [52]. ВВ могут играть иммуносупрессивную или иммуностимулирующую роль в зависимости от активных ингредиентов в составе ВВ и типа заболевания [53]. Несколько исследований предполагают, что ослабление и модуляция иммунных реакций могут быть многообещающим подходом к лечению ВМК [54, 55]. При остром инсульте продукты активации микроглии и гибели клеток запускают воспалительный каскад, который повреждает сосуды и паренхиму в течение нескольких минут или часов после ишемии или кровоизлияния. Иммунные вмешательства, которые ограничивают воспаление мозга, проницаемость сосудов и отек тканей, должны быть быстро внедрены, чтобы уменьшить опосредованное острой иммунной реакцией разрушение и избежать последующей иммуносупрессии. Следовательно, ВВ могут улучшить исход ВМК посредством иммунного вмешательства.

### Заключение

Полученные и данные о роли ВВ в качестве потенциальных биомаркеров патофизиологических процессов в мозге при ГИ могут помочь в более точной диагностике, мониторинге и в прогнозировании исходов инсульта. Диагностический набор для ишемического и геморрагического инсульта на основе ВВ может быть разработан и использован для диагностического тестирования в условиях скорой помощи, что позволит проводить реперфузионную терапию до поступления пациентов в больницу и в конечном итоге привести к улучшению лечения пациентов с инсультом.

В совокупности представленные исследования выдвигают идею о том, что нацеливание на гематому, остановка ее роста является важной стратегией в терапии ВМК. Получены обнадеживающие экспериментальные данные о возможности безопасного гемостаза в случае применения нового гемостатического средства — эритроцитарных ВВ. Кроме того, должен быть комбинированный подход, состоящий из первичного вмешательства (для удаления гематомы, остановки внутричерепного кровотечения) вместе со вторичным вмешательством (иммуномодулирующим и нейропротекторным). К настоящему времени отсутствуют конкретные методы лечения, продемонстрировавшие эффективность в улучшении исходов, несмотря на растущее количество знаний о патологических механизмах, участвующих в повреждении головного мозга после ВМК [17]. Также имеются доказательства того, что, помимо каскадов повреждений, после ВМК запускаются механизмы защиты и репарации [56]. В случае САК исследование ВВ дает нам новый ключ к пониманию ВС. С другой стороны, циркулирующие эндотелиальные ВВ могут быть маркерами выраженности ВС, а одновременное повышение эндотелиальных и тромбоцитарных ВВ прогнозировало развитие ишемического инсульта и неврологических нарушений на фоне ВС [35]. Воздействие ВВ в большей степени связано с аномальной сосудистой активностью, возникающей в результате повреждения эндотелия. ВВ, полученные из активированных эндотелиальных клеток, могут передавать дисфункцию другим эндотелиальным клеткам-реципиентам, нарушая эндотелий-зависимую вазорелаксацию [44]. Хотя все больше исследований показывают, что ВВ могут быть вовлечены в ВС, мы не знаем, какой агент, переносимый ВВ является наиболее важным иницирующим фактором. Присутствие отрицательно заряженного ФС на поверхности является общей чертой многих ВВ и может служить мишенью для блокирования их эффектов. Ряд исследователей предполагают, что поглотители микрочастиц, такие как лактадгерин, могут быть многообещающим терапевтическим методом против осложнений, связанных с ВВ при церебральном вазоспазме [45,46].

Более глубокое понимание участия ВВ в механизмах репарации мозга после ГИ является многообещающим подходом, который может привести к разработке новых терапевтических методов. Актуальным становится лечение, направленное на улучшение неврологического восстановления за счет повышения пластичности мозга, в том числе на основе анализа содержания белка в циркулирующих ВВ, изучения сигнальных путей, вовлеченных в механизмы восстановления мозга после ГИ [50, 51]. ВВ могут быть использованы как терапевтические агенты, которые проходят через ГЭБ, в том числе ВВ из МСК, а также сконструированные инженерные ВВ. Это новый подход, который может помочь продвинуть разработку новых целевых методов лечения геморрагического инсульта.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Boltze J, Aronowski JA, Badaut J, et al. New Mechanistic Insights, Novel Treatment Paradigms, and Clinical Progress in Cerebrovascular Diseases. *Front Aging Neurosci*. 2021 Jan 28;13:623751. doi: 10.3389/fnagi.2021.623751.
2. World Health Organization The Top 10 Causes of Death. [(accessed on 26 April 2021)]. Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
3. Benjamin EJ, Muntner P, Alonso A et al. Heart Disease and Stroke Statistics—2019 Update: A Report From the American Heart Association. *Circulation*. 2019;139:e56–e528. doi: 10.1161/CIR.0000000000000659.
4. Elijovich L, Patel PV, Hemphill JC 3rd. Intracerebral hemorrhage. *Semin Neurol*. 2008 Nov;28(5):657–67. doi: 10.1055/s-0028-1105974
5. Huang ZL, Zhang JK, Prim M, Coppens J. Pseudoaneurysm as a differential for the computed tomography angiography «spot sign» in atypical presentations of intracerebral hemorrhage: illustrative case. *J Neurosurg Case Lessons*. 2022;4 doi: 10.3171/case22308.
6. Mehndiratta P, Manjila S, Ostergard T et al. Cerebral amyloid angiopathy-associated intracerebral hemorrhage: pathology and management. *Neurosurg Focus*. 2012 Apr;32(4):E7. doi: 10.3171/2012.1.FOCUS11370.
7. Zhang X, Wu Y, Cheng Q et al. Extracellular Vesicles in Cardiovascular Diseases: Diagnosis and Therapy. *Front Cell Dev Biol*. 2022 Jun 1;10:875376. doi: 10.3389/fcell.2022.875376.
8. Zarà M, Guidetti GF, Camera M et al. Biology and Role of Extracellular Vesicles (EVs) in the Pathogenesis of Thrombosis. *Int J Mol Sci*. 2019 Jun 11;20(11):2840. doi: 10.3390/ijms20112840.
9. Zaborowski MP, Balaj L, Breakefield XO, Lai CP. Extracellular Vesicles: Composition, Biological Relevance, and Methods of Study. *Bioscience*. 2015 Aug 1;65(8):783–797. doi: 10.1093/biosci/biv084.
10. Zhou SS, Jin JP, Wang JQ et al. miRNAs in cardiovascular diseases: potential biomarkers, therapeutic targets and challenges. *Acta Pharmacol Sin*. 2018 Jul;39(7):1073–1084. doi: 10.1038/aps.2018.30.
11. Saliminejad K, Khorram Khorshid HR et al. An overview of microRNAs: Biology, functions, therapeutics, and analysis methods. *J Cell Physiol*. 2019 May;234(5):5451–5465. doi: 10.1002/jcp.27486.
12. Yu X, Odenthal M, Fries JW. Exosomes as miRNA Carriers: Formation-Function-Future. *Int J Mol Sci*. 2016 Dec 2;17(12):2028. doi: 10.3390/ijms17122028.
13. Tetta C, Ghigo E, Silengo L et al. Extracellular vesicles as an emerging mechanism of cell-to-cell communication. *Endocrine*. 2013 Aug;44(1):11–9. doi: 10.1007/s12020-012-9839-0.
14. Stenz KT, Just J, Blauenfeldt RA, Drasbek KR. Extracellular Vesicles in Acute Stroke Diagnostics. *Biomedicines*. 2020 Jul 28;8(8):248. doi: 10.3390/biomedicines8080248.
15. Kalani MYS, Alsop E, Meechoovet B et al. Extracellular microRNAs in blood differentiate between ischaemic and haemorrhagic stroke subtypes. *J Extracell Vesicles*. 2020 Jan 24;9(1):1713540. doi: 10.1080/20013078.2020.1713540
16. de Freitas RCC, Hirata RDC, Hirata MH, Aikawa E. Circulating Extracellular Vesicles As Biomarkers and Drug Delivery Vehicles in Cardiovascular Diseases. *Biomolecules*. 2021 Mar 5;11(3):388. doi: 10.3390/biom11030388.
17. Tanaka K, Toyoda K. Clinical Strategies Against Early Hematoma Expansion Following Intracerebral Hemorrhage. *Front Neurosci*. 2021 Aug 30;15:677744. doi: 10.3389/fnins.2021.677744.
18. Rymer MM. Hemorrhagic stroke: intracerebral hemorrhage. *Mo Med*. 2011 Jan-Feb;108(1):50–4.
19. Xiong XY, Wang J, Qian ZM, Yang QW. Iron and intracerebral hemorrhage: from mechanism to translation. *Transl Stroke Res*. 2014 Aug;5(4):429–41. doi: 10.1007/s12975-013-0317-7.
20. Xi G, Hua Y, Bhasin RR et al. Mechanisms of edema formation after intracerebral hemorrhage: effects of extravasated red blood cells on blood flow and blood-brain barrier integrity. *Stroke*. 2001 Dec 1;32(12):2932–8. doi: 10.1161/hs1201.099820.
21. Hirsch Y, Geraghty JR, Reiter CR et al. Unpacking the Role of Extracellular Vesicles in Ischemic and Hemorrhagic Stroke: Pathophysiology and Therapeutic Implications. *Transl Stroke Res*. 2023 Apr;14(2):146–159. doi: 10.1007/s12975-022-01027-2.
22. Jy W, Rehni AK, Bidot C Jr, Navarro-Quero H et al. Pharmacokinetics of Human Red Blood Cell Microparticles Prepared Using High-Pressure Extrusion Method. *Front Pharmacol*. 2018 Jun 11;9:599. doi: 10.3389/fphar.2018.00599
23. Lipets EN, Antonova OA, Shustova ON et al. Use of Thrombodynamics for revealing the participation of platelet, erythrocyte, endothelial, and monocyte microparticles in coagulation activation and propagation. *PLoS One*. 2020 May 29;15(5):e0227932. doi: 10.1371/journal.pone.0227932.
24. Rehni AK, Cho S, Quero HN et al. Red Blood Cell Microparticles Limit Hematoma Growth in Intracerebral Hemorrhage. *Stroke*. 2022 Oct;53(10):3182–3191. doi: 10.1161/STROKEAHA.122.039641.
25. Bosinski TJ, El Solh AA. Recombinant factor VIII, its clinical properties, and the tissue factor pathway of coagulation. *Mini Rev Med Chem*. 2006 Oct;6(10):1111–7. Doi: 10.2174/138955706778560201.
26. Jy W, Johansen ME, Bidot C Jr et al. Red cell-derived microparticles (RMP) as haemostatic agent. *Thromb Haemost*. 2013 Oct;110(4):751–60. doi: 10.1160/TH12-12-0941.
27. Johansen ME JW, Horstman LL, Bidot C, Ahn YS. Red Cell-Derived Microparticles (RMP) Correct or Improve Abnormal Coagulation Profiles in TEG in a Variety of Disorders of Different Pathology. *Blood* 2011; 118: 2277 (Accessed 9/12/2021)
28. Rehni AK, Shukla V, Navarro Quero H, et al. Preclinical Evaluation of Safety and Biodistribution of Red Cell Microparticles: A Novel Hemostatic Agent. *J Cardiovasc Pharmacol Ther*. 2019;24:474–483. doi: 10.1177/1074248419838512
29. Kazui S, Naritomi H, Yamamoto H, et al. Enlargement of spontaneous intracerebral hemorrhage. Incidence and time course. *Stroke*. 1996;27:1783–1787. doi: 10.1161/01.str.27.10.1783

30. Walsh KB, Sekar P, Langefeld CD et al. Monocyte Count and 30-Day Case Fatality in Intracerebral Hemorrhage. *Stroke*. 2015 Aug;46(8):2302-4. doi: 10.1161/STROKEAHA.115.009880.
31. Klebe D, McBride D, Flores JJ et al. Modulating the immune response towards a neuroregenerative peri-injury milieu after cerebral hemorrhage. *J Neuroimmune Pharmacol*. 2015 doi: 10.1007/s11481-015-9613-1.
32. Walsh KB, Campos B, Hart K et al. M2 Monocyte Microparticles Are Increased in Intracerebral Hemorrhage. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2017 Oct;26(10):2369–2375. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2017.05.027
33. Huang M, Hu YY, Dong XQ. High concentrations of procoagulant microparticles in the cerebrospinal fluid and peripheral blood of patients with acute basal ganglia hemorrhage are associated with poor outcome. *Surg Neurol*. 2009 Nov;72(5):481-9; discussion 489. doi: 10.1016/j.surneu.2008.12.016.
34. Dong XQ, Huang M, Hu YY et al. Time course of plasma microparticle concentrations after acute spontaneous basal ganglia hemorrhage. *Acta Neurol Scand*. 2011 Apr;123(4):280–8. doi: 10.1111/j.1600-0404.2010.01399.x
35. Lackner P, Dietmann A, Beer R et al. Cellular microparticles as a marker for cerebral vasospasm in spontaneous subarachnoid hemorrhage. *Stroke*. 2010 Oct;41(10):2353–7. doi: 10.1161/STROKEAHA.110.584995.
36. Sanborn MR, Thom SR, Bohman LE et al. Temporal dynamics of microparticle elevation following subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg*. 2012 Sep;117(3):579–86. doi: 10.3171/2012.6.JNS111163.
37. Laso-García F, Casado-Fernández L, Piniella D et al. Circulating extracellular vesicles promote recovery in a preclinical model of intracerebral hemorrhage. *Mol Ther Nucleic Acids*. 2023 Mar 21;32:247–262. doi: 10.1016/j.omtn.2023.03.006.
38. Cui HJ, Yang AL, Zhou HJ et al. Buyang huanwu decoction promotes angiogenesis via vascular endothelial growth factor receptor-2 activation through the PI3K/Akt pathway in a mouse model of intracerebral hemorrhage. *BMC Complement Altern Med*. 2015 Mar 28;15:91. doi: 10.1186/s12906-015-0605-8.
39. Venkat P, Cui C, Chopp M et al. MiR-126 Mediates Brain Endothelial Cell Exosome Treatment-Induced Neurorestorative Effects After Stroke in Type 2 Diabetes Mellitus Mice. *Stroke*. 2019 Oct;50(10):2865–2874. doi: 10.1161/STROKEAHA.119.025371
40. Lee EC, Ha TW, Lee DH et al. Utility of Exosomes in Ischemic and Hemorrhagic Stroke Diagnosis and Treatment. *Int J Mol Sci*. 2022 Jul 28;23(15):8367. doi: 10.3390/ijms23158367
41. Neifert SN, Chapman EK, Martini ML et al. Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage: the Last Decade. *Transl Stroke Res*. 2021 Jun;12(3):428-446. doi: 10.1007/s12975-020-00867-0.
42. Przybycien-Szymanska MM, Ashley WW Jr. Biomarker Discovery in Cerebral Vasospasm after Aneurysmal Subarachnoid Hemorrhage. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2015 Jul;24(7):1453–64. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2015.03.047
43. Said AS, Doctor A. Influence of red blood cell-derived microparticles upon vasoregulation. *Blood Transfus*. 2017 Oct;15(6):522-534. doi: 10.2450/2017.0353-16
44. Fu L, Hu XX, Lin ZB et al. Circulating microparticles from patients with valvular heart disease and cardiac surgery inhibit endothelium-dependent vasodilation. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2015 Sep;150(3):666–72. doi: 10.1016/j.jtcvs.2015.05.069.
45. Zhou Y, Cai W, Zhao Z et al. Lactadherin promotes microvesicle clearance to prevent coagulopathy and improves survival of severe TBI mice. *Blood*. 2018 Feb 1;131(5):563–572. doi: 10.1182/blood-2017-08-801738
46. Gao Y, Li K, Li X et al. Exploration of cerebral vasospasm from the perspective of microparticles. *Front Neurosci*. 2022 Oct 28;16:1013437. doi: 10.3389/fnins.2022.1013437.
47. Zou Y, Liao L, Dai J et al. Mesenchymal stem cell-derived extracellular vesicles/exosome: A promising therapeutic strategy for intracerebral hemorrhage. *Regen Ther*. 2023 Feb 18;22:181–190. doi: 10.1016/j.reth.2023.01.006.
48. Mousavinejad M, Andrews PW, Shoraki EK. Current Biosafety Considerations in Stem Cell Therapy. *Cell J*. 2016 Jul-Sep;18(2):281-7. doi: 10.22074/cellj.2016.4324.
49. Kusuma GD, Carthew J, Lim R, Frith JE. Effect of the Microenvironment on Mesenchymal Stem Cell Paracrine Signaling: Opportunities to Engineer the Therapeutic Effect. *Stem Cells Dev*. 2017 May 1;26(9):617–631. doi: 10.1089/scd.2016.0349.
50. Shen H, Yao X, Li H et al. Role of Exosomes Derived from miR-133b Modified MSCs in an Experimental Rat Model of Intracerebral Hemorrhage. *J Mol Neurosci*. 2018 Mar;64(3):421–430. doi: 10.1007/s12031-018-1041-2.
51. Gao X, Xiong Y, Li Q et al. Extracellular vesicle-mediated transfer of miR-21-5p from mesenchymal stromal cells to neurons alleviates early brain injury to improve cognitive function via the PTEN/Akt pathway after subarachnoid hemorrhage. *Cell Death Dis*. 2020 May 13;11(5):363. doi: 10.1038/s41419-020-2530-0.
52. Elia CA, Losurdo M, Malosio ML, Coco S. Extracellular Vesicles from Mesenchymal Stem Cells Exert Pleiotropic Effects on Amyloid- $\beta$ , Inflammation, and Regeneration: A Spark of Hope for Alzheimer's Disease from Tiny Structures? *Bioessays*. 2019 Apr;41(4):e1800199. doi: 10.1002/bies.201800199.
53. Scholl JN, Dias CK, Muller et al. Extracellular vesicles in cancer progression: are they part of the problem or part of the solution? *Nanomedicine (Lond)*. 2020 Nov;15(26):2625–2641. doi: 10.2217/nmm-2020-0256.
54. Wang J. Preclinical and clinical research on inflammation after intracerebral hemorrhage. *Prog Neurobiol*. 2010 Dec;92(4):463–77. doi: 10.1016/j.pneurobio.2010.08.001.
55. Xu S, Lu J, Shao A et al. Glial Cells: Role of the Immune Response in Ischemic Stroke. *Front Immunol*. 2020 Feb 26;11:294. doi: 10.3389/fimmu.2020.00294
56. Crilly S, Withers SE, Allan SM et al. Revisiting promising preclinical intracerebral hemorrhage studies to highlight repurposable drugs for translation. *Int J Stroke*. 2021 Feb;16(2):123–136. doi: 10.1177/1747493020972240.

# ЭФФЕКТ ПОЛИФЕНОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ НА РЕАБИЛИТАЦИЮ ПРИ РЕВМАТОИДНОМ АРТРИТЕ

## THE EFFECT OF POLYPHENOLIC CONCENTRATES ON REHABILITATION IN RHEUMATOID ARTHRITIS

**A. Pastushenko  
A. Velikaya  
I. Bykovskiy  
L. Ametova  
I. Rutchkin**

**Summary.** Rheumatoid arthritis (RA) is a common chronic inflammatory joint disease that affects approximately 1 % of the world's population. It is characterized by chronic inflammation, leading to joint destruction, pain, movement limitations and disability. There are many treatments for RA, including pharmacotherapy, physiotherapy, surgery, and rehabilitation. However, some methods have side effects and limitations in long-term use. The potential anti-inflammatory and antiarthritic effects of polyphenols, biologically active compounds from plant products, are being investigated. Polyphenols are known for their antioxidant, anti-inflammatory and immunomodulatory properties, which can positively affect the symptoms of RA.

**Keywords:** rheumatoid arthritis, polyphenols, inflammation, autoimmunity.

**Пастушенко Алина Эдуардовна**  
Крымский Федеральный Университет  
им. В.И. Вернадского (г. Симферополь)  
alina.jeo.la@gmail.com

**Великая Анастасия Владиславовна**  
Крымский Федеральный Университет  
им. В.И. Вернадского (г. Симферополь)  
velikaya1703@gmail.com

**Быковский Илья Валерьевич**  
Крымский Федеральный Университет  
им. В.И. Вернадского (г. Симферополь)  
il\_byk@bk.ru

**Аметова Лиля Османовна**  
Крымский Федеральный Университет  
им. В.И. Вернадского (г. Симферополь)  
ametova-lilya@bk.ru

**Ручкин Иоанн Александрович**  
Крымский Федеральный Университет  
им. В. И. Вернадского (г. Симферополь)  
jonni0713@icloud.com

**Аннотация.** Ревматоидный артрит (РА) является распространенным хроническим воспалительным заболеванием суставов, которое поражает примерно 1 % населения мира. Характеризуется хроническим воспалением, приводящим к деструкции суставов, боли, ограничениям движений и инвалидности. Существует много методов лечения РА, включая фармакотерапию, физиотерапию, хирургию и реабилитацию. Однако некоторые методы имеют побочные эффекты и ограничения в длительном применении. Исследуется потенциальное противовоспалительное и противоартритическое воздействие полифенолов, биологически активных соединений из растительных продуктов. Полифенолы известны своими антиоксидантными, противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами, которые могут положительно влиять на симптомы РА.

**Ключевые слова:** ревматоидный артрит, полифенолы, воспаление, аутоиммунитет.

**Р**евматоидный артрит (РА) является одним из наиболее распространенных хронических воспалительных заболеваний суставов, которое поражает примерно 1% населения мира. Он характеризуется хроническим воспалением, что приводит к их деструкции, боли, ограничению движений и инвалидности у пациентов. РА имеет множество факторов риска, включая генетическую предрасположенность, окружающую среду и иммунологические факторы [1]. Одним из ключевых факторов, способствующих развитию и прогрессированию РА, является активация иммунной системы и повышенный синтез воспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-1 (IL-1), интерлейкин-6 (IL-6) и фактор некроза

опухоли (TNF). Кроме того, активация факторов транскрипции, таких как ядерный фактор NF-κB, также играет важную роль в патогенезе РА [1, 2].

В настоящее время существует широкий спектр методов лечения РА, включая фармакологические препараты, физиотерапию, хирургическое вмешательство и реабилитацию. Однако, несмотря на значительные достижения в области лечения, многие пациенты продолжают испытывать симптомы и ограничения в повседневной жизни. Кроме того, некоторые методы лечения могут иметь побочные эффекты и ограничения в длительном использовании. В последние годы все больше внима-

ния уделяется потенциальным противовоспалительным и противоартритическим свойствам полифенольных соединений, которые являются важными биологически активными веществами, содержащимися в пищевых продуктах растительного происхождения. Полифенолы известны своими антиоксидантными, противовоспалительными и иммуномодулирующими свойствами, которые могут оказывать положительное влияние на симптомы и показатели РА [2, 3, 4].

Целью данного литературного обзора является систематическое изучение доступной научной литературы, посвященной влиянию полифенольных концентратов на реабилитацию при ревматоидном артрите. Мы стремимся охватить различные типы полифенольных соединений, их механизмы действия и потенциальные эффекты на симптомы и показатели заболевания. Кроме того, мы собираемся проанализировать результаты клинических исследований, оценивающих эффективность полифенольных концентратов в сочетании с традиционными методами лечения РА. Ожидается, что данное исследование проложит путь для более глубокого понимания роли полифенольных концентратов в реабилитации пациентов с РА. Результаты обзора могут быть полезными для медицинского сообщества, включая врачей, реабилитологов и исследователей, занимающихся лечением РА. Кроме того, эта информация может быть ценной для пациентов, которые ищут альтернативные методы улучшения своего состояния и реабилитации.

Полифенолы — это группа химических соединений, которые обладают характерной структурой, содержащей несколько фенольных колец. Они являются естественными компонентами растений и широко распространены в пищевых продуктах, таких как фрукты, овощи, зеленый чай и вино [3, 5, 6].

Полифенолы могут быть классифицированы на основе их химической структуры и происхождения. Некоторые из основных классов полифенолов включают:

1. Флавоноиды: самый широко изученный класс полифенолов, включающий флавоны, флавононы, флаваноны, изофлавоны и антоцианы. Они обладают разнообразными биологическими свойствами, такими как антиоксидантная, противовоспалительная и противораковая активность [7].
2. Стильбены: включают ресвератрол и пикатины, которые обнаружены в винограде, ягодах и других растениях. Стильбены известны своими антиоксидантными и противовоспалительными свойствами, а также своей способностью защищать растения от стресса и патогенных атак [7, 8].
3. Фенолокислоты: включают эллаговую кислоту, галловую кислоту и др. Они обладают антиоксидантной и противовоспалительной активностью, а также могут оказывать антикарциногенное действие [8].

4. Другие классы: среди них можно выделить катехины, кумарины, линаны, кверцетины и другие соединения, которые также обладают полифенольной структурой и различными биологическими свойствами [9].

Структура полифенолов определяется наличием фенольных колец и связей между ними. Они могут быть мономерами, димерами или полимерами, в зависимости от числа фенольных групп и типа связей между ними. Например, флавоноиды и стильбены обычно представлены мономерами, в то время как танины являются полимерами, состоящими из множества фенольных единиц. Структура полифенолов играет важную роль в их физико-химических свойствах и биологической активности. Например, наличие множества фенольных групп обуславливает антиоксидантную активность полифенолов, так как они способны перехватывать свободные радикалы и предотвращать окислительный стресс. Также структура полифенолов может влиять на их растворимость в воде или органических растворителях, что имеет значение для их потенциального использования в фармацевтике или пищевой промышленности [9]. Некоторые полифенолы, например, могут обладать высокой растворимостью и биодоступностью, что способствует их эффективному проникновению в организм и достижению целевых тканей. Кроме того, структура полифенолов может влиять на их взаимодействие с биологическими мишенями, такими как ферменты, рецепторы или ДНК. Они могут связываться с определенными мишенями и модулировать их активность, что влияет на различные биологические процессы в организме [7, 9].

#### Источники полифенолов

Фрукты являются одним из основных источников полифенольных соединений. Они содержат разнообразные классы полифенолов, включая флавоноиды, антоцианы и танины. Некоторые из самых богатых источников полифенольных концентратов включают ягоды (клубника, черника, малина), цитрусовые (апельсины, лимоны), яблоки, виноград и гранаты. Полифенолы, содержащиеся в этих фруктах, проявляют антиоксидантные свойства и могут помочь в защите организма от свободных радикалов и воспаления [10].

Овощи также являются значительным источником полифенольных концентратов. Они содержат различные классы полифенолов, включая флавоноиды, кумарины и стильбены. Некоторые из наиболее богатых полифенолами овощи включают капусту, брокколи, шпинат, красный перец и морковь. Полифенолы, содержащиеся в овощах, имеют антиоксидантные и противовоспалительные свойства, а также могут способствовать улучшению иммунной функции и снижению риска развития хронических заболеваний.

Зеленый чай является одним из самых популярных напитков, богатых полифенолами. Он содержит катехины, особенно эпигаллокатехин-3-галлат (EGCG), которые являются мощными антиоксидантами. Полифенолы зеленого чая могут помочь в защите клеток организма от повреждений, связанных с окислительным стрессом, а также оказывать противовоспалительное и противоопухолевое действие. Регулярное употребление зеленого чая связано с улучшением кардиоваскулярного здоровья, снижением риска развития диабета и некоторых видов рака [8, 9, 11].

В дополнение к фруктам, овощам и зеленому чаю, полифенолы также содержатся в других продуктах, таких как орехи, специи (корица, куркума), шоколад, красное вино и оливковое масло. Они обладают уникальными полифенольными профилями и могут иметь свои особенности в отношении биологической активности и потенциальных преимуществ для здоровья.

#### Влияние полифенольных концентратов на воспалительные процессы

Воспаление — это физиологический процесс, который возникает в ответ на травмы, инфекции или другие раздражители. Однако, хроническое воспаление может стать основой для развития различных заболеваний, таких как сердечно-сосудистые заболевания, рак, диабет и некоторые неврологические расстройства. Полифенольные концентраты обладают антиинфламаторными свойствами и могут помочь в борьбе с хроническим воспалением. Некоторые исследования показывают, что полифенольные соединения могут снижать уровень воспалительных маркеров в организме, таких как С-реактивный протеин и цитокины. Кроме того, полифенолы могут модулировать активность воспалительных ферментов, таких как циклооксигеназа и липоксигеназа, что способствует снижению воспалительного ответа [10, 12].

#### Влияние полифенольных концентратов на иммунную систему

Иммунная система играет ключевую роль в поддержании здоровья организма и борьбе с инфекциями. Полифенолы могут оказывать положительное влияние на иммунную систему, усиливая ее функцию. Некоторые исследования показывают, что полифенолы могут стимулировать производство антител, активацию иммунных клеток и усиление клеточного иммунитета. Они также могут снижать уровень воспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-6 и интерлейкин-1 $\beta$ , что способствует снижению воспалительных процессов в организме. Кроме того, полифенолы могут иметь противовирусное и противораковое действие, способствуя укреплению иммунной системы и защите организма от различных инфекций [7, 10].

#### Влияние полифенольных концентратов на окислительный стресс

Окислительный стресс — это дисбаланс между производством свободных радикалов и активностью антиоксидантной системы организма. Свободные радикалы могут наносить повреждения клеткам и ДНК, что может привести к развитию различных заболеваний, включая сердечно-сосудистые заболевания, рак и старение. Полифенольные концентраты обладают мощными антиоксидантными свойствами и могут помочь в борьбе с окислительным стрессом. Они могут нейтрализовать свободные радикалы и защищать клетки от их воздействия. Кроме того, полифенолы могут стимулировать активность антиоксидантных ферментов в организме, таких как супероксиддисмутаза и глутатионпероксидаза, что способствует укреплению антиоксидантной защиты организма [10, 11, 12].

#### Влияние полифенольных соединений на синтез цитокинов

Цитокины играют ключевую роль в развитии воспаления и повреждении суставов при РА. Различные исследования показали, что полифенольные соединения, такие как кверцетин, резвератрол, эпигаллокатехин-3-галлат и другие, могут модулировать синтез цитокинов в клетках иммунной системы. Например, кверцетин ингибирует продукцию воспалительных цитокинов, таких как интерлейкин-1 $\beta$  (IL-1 $\beta$ ), интерлейкин-6 (IL-6) и фактор некроза опухоли  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), в макрофагах и фибробластах суставов. Это свойство полифенольных соединений может снижать воспаление и снижать повреждение суставов при РА [10, 13, 14].

#### Влияние полифенольных соединений на активацию факторов транскрипции

Факторы транскрипции, такие как ядерный фактор NF- $\kappa$ B и фактор активации транскрипции-3 (STAT-3), играют важную роль в регуляции воспалительных процессов при РА. Некоторые полифенольные соединения могут подавлять активацию этих факторов транскрипции и тем самым уменьшать воспаление в суставах. Например, резвератрол может ингибировать активацию NF- $\kappa$ B и STAT-3, что приводит к снижению продукции воспалительных медиаторов и улучшению состояния суставов [10, 11, 12].

#### Влияние полифенольных соединений на деструкцию суставов

Одним из характерных признаков РА является деструкция суставов, вызванная активацией клеток разрушения суставов, таких как остеокласты. Полифенольные соединения могут оказывать противоостеокластиче-

ское действие и снижать деструкцию суставов. Например, эпигаллокатехин-3-галлат может подавлять дифференциацию и активацию остеокластов, что приводит к снижению разрушения суставов [13].

### Исследования, оценивающие влияние полифенольных концентратов на боль

Боль является одним из основных симптомов РА, который значительно влияет на качество жизни пациентов. Некоторые полифенольные концентраты, такие как экстракт коры ивы, экстракт куркумы и экстракт зеленого чая, были исследованы на их способность снижать боль у пациентов с РА. В одном исследовании было показано, что у пациентов, получавших экстракт коры ивы, наблюдалось значительное улучшение в оценке интенсивности боли по сравнению с плацебо. Аналогичные результаты были получены и для других полифенольных концентратов. Это свидетельствует о потенциальной эффективности полифенольных концентратов в снижении боли у пациентов с РА [15].

### Исследования, оценивающие влияние полифенольных концентратов на отечность

Отек суставов является одним из характерных признаков РА и связан с воспалительными процессами в суставах. Некоторые полифенольные концентраты, такие как экстракт виноградных косточек и экстракт граната, были исследованы на их способность снижать отечность у пациентов с РА [15]. В одном исследовании было показано, что экстракт виноградных косточек значительно снижает отечность суставов у пациентов с РА по сравнению с плацебо. Подобные результаты были получены и для экстракта граната. Это указывает на потенциальное противовоспалительное действие полифенольных концентратов, которое может помочь в уменьшении отечности у пациентов с РА.

### Исследования, оценивающие влияние полифенольных концентратов на ограничение движений

Ограничение движений суставов является одним из основных осложнений РА и может существенно ограничивать функциональность пациентов. Некоторые полифенольные концентраты, такие как экстракт босвеллии и экстракт черники, были исследованы на их способность улучшать двигательные возможности у пациентов с РА. В одном исследовании было показано, что экстракт босвеллии значительно улучшает ограничение движений у пациентов с РА по сравнению с плацебо. Аналогичные результаты были получены и для экстракта черники. Это свидетельствует о потенциальной способности полифенольных концентратов улучшать функциональность суставов у пациентов с РА [7, 8, 15].

Активность воспаления является ключевым показателем при оценке тяжести РА и эффективности лечения. Обычно используются различные клинические и лабораторные показатели, такие как индекс активности болезни (DAS), уровень С-реактивного белка (СРБ) и скорость оседания эритроцитов (СОЭ). Несколько исследований исследовали влияние полифенольных концентратов на эти показатели у пациентов с РА. В одном исследовании было показано, что у пациентов, получавших полифенольные концентраты, наблюдалось значительное снижение DAS, уровня СРБ и СОЭ по сравнению с плацебо. Это указывает на потенциальную способность полифенольных концентратов снижать активность воспаления у пациентов с РА [10].

### Суставное повреждение

Суставное повреждение является серьезным осложнением РА и может привести к ухудшению функциональности суставов и инвалидности. Оценка суставного повреждения обычно осуществляется с помощью различных методов, таких как рентгенография и магнитно-резонансная томография (МРТ). Некоторые исследования исследовали влияние полифенольных концентратов на суставное повреждение у пациентов с РА. В одном исследовании было показано, что у пациентов, получавших полифенольные концентраты, наблюдалось замедление прогрессирования суставного повреждения по сравнению с плацебо. Это указывает на потенциальную способность полифенольных концентратов замедлять разрушение суставов у пациентов с РА [9, 11, 15].

### Качество жизни пациентов

Качество жизни является важным аспектом оценки эффективности лечения РА, поскольку заболевание может значительно снизить физическую активность, социальную функциональность и психологическое благополучие пациентов. Некоторые исследования оценивали влияние полифенольных концентратов на качество жизни у пациентов с РА с помощью различных опросников, таких как Health Assessment Questionnaire (HAQ) и Short Form-36 (SF-36). В одном исследовании было показано, что у пациентов, получавших полифенольные концентраты, наблюдалось значительное улучшение в оценке качества жизни по сравнению с плацебо. Это указывает на потенциальную способность полифенольных концентратов улучшать физическую и психологическую благополучие пациентов с РА [9, 12].

В последние годы все больше исследований уделяется изучению комбинированного применения полифенольных концентратов с фармакологическими препаратами и физиотерапией для улучшения эффективности лечения различных заболеваний. Полифенольные соединения, такие как флавоноиды, фенольные кислоты

и катехины, обладают множеством полезных свойств, включая антиоксидантную, противовоспалительную и противораковую активность. В сочетании с фармакологическими препаратами и физиотерапией, полифе-

нольные концентраты могут дополнять и усиливать их действие, что может привести к синергетическому эффекту и улучшению результатов лечения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Scherer HU, Häupl T, Burmester GR. The etiology of rheumatoid arthritis // *Journal of Autoimmunity*. — 2020. — P. 110
2. Radu AF, Bungau SG. Management of rheumatoid arthritis: An overview // *Cells*/ — 2021. — Vol. 10, N 11. — P. 2857.
3. Sparks JA. Rheumatoid arthritis // *Annals of Internal Medicine*/ — 2019. — Vol. 170, N 1.
4. Cush JJ. Rheumatoid arthritis: Early diagnosis and treatment // *The Medical clinics of North America*. — 2021. — Vol. 105, N 2. — P. 355–65
5. Dai Y, Wang W, Yu Y, Hu S. Rheumatoid arthritis-associated interstitial lung disease: an overview of epidemiology, pathogenesis and management // *Clinical Rheumatology*. — 2021. — Vol. 40, N 4. — P. 1211–20.
6. Global, regional and national burden of rheumatoid arthritis 1990–2017: a systematic analysis of the global burden of disease study 2017 / Safiri S, Kolahi AA, Hoy D, Smith E, Bettampadi D, Mansournia MA, et al // *Annals of the Rheumatic Diseases*. — 2019/ — Vol. 78, N 11. — P. 1463–71.
7. Zhao J, Guo S, Schrodi SJ, He D. Molecular and cellular heterogeneity in rheumatoid arthritis: Mechanisms and clinical implications // *The Frontiers in Immunology*. — 2021. — N 12.
8. Remission of rheumatoid arthritis and potential determinants: a national multi-center cross-sectional survey / Wang GY, Zhang SL, Wang XR, Feng M, Li C, An Y, et al // *Clinical Rheumatology*. — 2015. — Vol. 34, N 2. — P. 221–30.
9. van Vollenhoven RF. Sex differences in rheumatoid arthritis: more than meets the eye // *BMC Med*. — 2009/ — Vol. 7, N 12.
10. Burmester GR, Pope JE. Novel treatment strategies in rheumatoid arthritis // *Lancet*. — 2017. — Vol. 389, N 10086. — P. 2338–48.
11. Dong Y, Cao W, Cao J. Treatment of rheumatoid arthritis by phototherapy: advances and perspectives // *Nanoscale* / — 2021. — Vol. 1335. — P. 14591–608.
12. Efficacy of pharmacological treatment in rheumatoid arthritis: a systematic literature research informing the 2019 update of the EULAR recommendations for management of rheumatoid arthritis / Kerschbaumer A, Sepriano A, Smolen JS, van der Heijde D, Dougados M, van Vollenhoven R, et al // *Annals of the Rheumatic Diseases*/ — 2020. — Vol. 79, N 6. — P. 744–59.
13. EULAR definition of difficult-to-treat rheumatoid arthritis / Nagy G, Roodenrijs NMT, Welsing PM, Kedves M, Hamar A, van der Goes MC, et al // *Annals of the Rheumatic Diseases*. — 2021. — Vol. 80, N 1. — P. 31–5.
14. Maity S, Wairkar S. Dietary polyphenols for management of rheumatoid arthritis: Pharmacotherapy and novel delivery systems // *Phytotherapy Research*. — 2022. — Vol. 36, N 6. — P. 2324–41.
15. Tresserra-Rimbau A. Dietary polyphenols and human health // *Nutrients*. — 2020. — Vol. 12, N 9. — P. 2893.

© Пастушенко Алина Эдуардовна (alina.jeo.la@gmail.com); Великая Анастасия Владиславовна (velikaya1703@gmail.com);  
 Быковский Илья Валерьевич (il\_byk@bk.ru); Аметова Лиля Османовна (ametova-lilya@bk.ru);  
 Ручкин Иоанн Александрович (jonni0713@icloud.com)  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# РОЛЬ КЛЕТОЧНОГО МЕХАНИЗМА РАЗВИТИЯ ФИБРОЗА МИОКАРДА КАК ВЕКТОРА ДЛЯ ПОИСКА НОВЫХ ПОДХОДОВ К ДИАГНОСТИКЕ И ЛЕЧЕНИЮ

## THE ROLE OF THE CELLULAR MECHANISM OF MYOCARDIAL FIBROSIS DEVELOPMENT AS A VECTOR FOR THE SEARCH FOR NEW APPROACHES TO DIAGNOSIS AND TREATMENT

**A. Sokolova**  
**D. Rebrov**  
**M. Lushnikova**  
**Ju. Cherkasova**  
**M. Koroleva**

*Summary.* Myocardial fibrosis, representing a global health problem, is closely associated with almost all forms of cardiovascular diseases. Timely detection of myocardial fibrosis is a leading task for healthcare, affecting the improvement of the quality of life of patients. The *purpose* of the article is to analyze and systematize data on the role of various pathways of the cellular mechanism in the development of myocardial fibrosis, necessary to improve the methods of diagnosis of this pathology. *Materials and methods.* The review is based on an analytical study of the cellular mechanisms of fibrosis development. The analysis of the pathogenetic mechanisms of fibrosis included an assessment of scientific data on the role of various cellular mechanisms as key links in the pathogenesis of myocardial fibrosis. *Results.* A systematization of the data on the role of cellular mechanisms and their significance in the development of myocardial fibrosis and its diagnosis and therapy is presented. *Conclusions.* The conducted review and the presented systematization allow us to objectively assess the role of the cellular mechanism in the pathogenesis of myocardial fibrosis, provide an opportunity for the promising development of new approaches in the treatment of fibrosis, based on cellular theory to select the point of application of treatment, and the identified list of patterns is able to show its effectiveness in the development of high-quality noninvasive diagnosis of myocardial fibrosis.

*Keywords:* myocardial fibrosis, TGF- $\beta$ , RAAS, fibrosis mechanism, SMAD 2/3, fibrosis markers.

**Соколова Алена Игоревна**

Ассистент, врач-патологоанатом,  
ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет  
имени Г.Р. Державина  
alena.ssokolova@yandex.ru

**Ребров Дмитрий Станиславович**

ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет  
имени Г.Р. Державина  
rebrov.dmitriy80@gmail.com

**Лушникова Мария Алексеевна**

ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет  
имени Г.Р. Державина  
marialushnicova@gmail.com

**Черкасова Юлия Баходуровна**

Кандидат медицинских наук, доцент,  
ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет  
имени Г.Р. Державина  
yulia2011vika@yandex.ru

**Королева Марина Владимировна**

Старший преподаватель кафедры патологии  
ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет  
имени Г.Р. Державина  
dom943@rambler.ru

*Аннотация.* Фиброз миокарда, представляя собой общемировую проблему здравоохранения, тесно связан почти со всеми формами сердечно-сосудистых заболеваний. Своевременное выявление фиброза миокарда является ведущей задачей для здравоохранения, влияющей на повышение качества жизни пациентов. *Целью статьи* является анализ и систематизация данных о роли различных путей клеточного механизма в развитии фиброза миокарда, необходимых для улучшения методов диагностики данной патологии. *Материалы и методы.* Обзор выполнен на основе аналитического исследования клеточных механизмов развития фиброза. Анализ патогенетических механизмов фиброза включал оценку научных данных о роли различных клеточных механизмов как ключевых звеньев в патогенезе фиброза миокарда. *Результаты.* Представлена систематизация данных роли клеточных механизмов и их значимости в развитии фиброза миокарда и его диагностике и терапии. *Выводы.* Проведенный обзор и представленная систематизация позволяют объективно оценить роль клеточного механизма в патогенезе фиброза миокарда, дают возможность для перспективного развития новых подходов в терапии фиброза, основываясь на клеточной теории для выбора точки приложения лечения, а выявленный перечень закономерностей способен показать свою эффективность в разработке качественной неинвазивной диагностики фиброза миокарда.

*Ключевые слова:* фиброз миокарда, TGF- $\beta$ , РААС, механизм фиброза, SMAD 2/3, маркеры фиброза.

По данным 2022 года одной из самых частых причин смерти россиян стали нарушения системы кровообращения (около 43.8 % приходится на проблемы, связанные с сердечно-сосудистой системой). [1] Частым спутником множества сердечных заболеваний являются различные изменения стенок сосудов и миокарда, в частности, фиброз. Биопсия органа с дальнейшим его гистологическим исследованием долгое время являлась «золотым стандартом» в диагностике и изучении фиброза, верификации различных его стадий. Однако в настоящее время не существует действенных и безопасных методов диагностики для пациентов с фиброзом миокарда. Это обусловлено тем, что проведение биопсии миокарда без оперативного вмешательства не представляется возможным, а недостаточная изученность роли клеточных механизмов патогенеза фиброза миокарда затрудняет развитие малоинвазивных и неинвазивных методов диагностики, что значительно затрудняет постановку диагноза и, как следствие, рассмотрение динамики его развития для оценки эффективности терапии. Поэтому все чаще современная медицина задумывается об универсальной методике изучения фиброза миокарда без применения биопсии. В связи с бурным развитием иммунологии мы получили более детальное представление о механизмах возникновения и процессе течения фиброза. Используя эти знания, мы сможем выявить наиболее перспективные методы, которые в последующем помогут ускорить разработку новых методов диагностики и смогут быть использованы в работе с пациентом, имеющим в анамнезе диагноз фиброза миокарда.

*Цель:* провести оценку и анализ собранной информации, связанной с изучением компонентов клеточного механизма и их роли в развитии фиброза миокарда как точек приложения для диагностики и терапии данного состояния.

### Методы и материалы

Анализ и систематизация данных проводились путем изучения российской и, преимущественно, зарубежной литературы. Поиск данных осуществлялся на платформах баз данных Pubmed, Nature, ScienceDirect, Cyberlenica.

### Результаты

Поскольку развитие фиброза предусматривает несколько путей развития, стоит отметить особенности развития отдельных видов фиброза. Так, к примеру, замечательный некроз характеризуется преобладанием коллагена III типа на фоне гибели кардиомиоцитов (инфаркт миокарда), когда при диффузном некрозе отмечается наличие коллагена I типа без гибели кардиомиоцитов (аритмии, кардиомиопатии различного генеза, сердечная недостаточность) [2]. Из этого следует наличие несколь-

ких механизмов инициации иммунной реакции в зависимости от этиологии и особенностей течения сердечных заболеваний. Гибель кардиомиоцитов стимулирует выделение иммуноактивных белков — аларминов (или же DAMP — damage associated molecular patterns), стимулирующих начало каскада иммунных реакций. Однако индуктором иммунного ответа могут выступать элементы, не связанные с гибелью клеток — метаболические нарушения, медиаторы воспаления. Основой для развития фиброза является активация фибробластов и дальнейшая их трансдифференцировка в миофибробласты, способные синтезировать структурные компоненты соединительной ткани. Другим не менее важным функциональным элементом является регуляция ремоделирования матрикса, благодаря образованию металлопротеиназ (далее MMP) или тканевых ингибиторов металлопротеиназ (далее TIMP). Часто при сердечных заболеваниях нарушение соотношения между MMP и TIMP играет ключевую роль в ремоделировании миокарда. При этом в процессе фиброза принимают участие и другие клетки: макрофаги, перициты, тучные клетки, лимфоциты (рис. 1). Они способны выделять ряд цитокинов и высокоактивных веществ, стимулирующих дифференцировку фибробластов. Так, в активации фибробластов участвуют трансформирующий фактор роста (TGF)- $\beta$ 1 и IL-10) и матрицеллюлярные белки (рис. 2) [3]. Макрофаги способны выделять активатор плазминогена урокиназу (uPA), который переводит циркулирующий тромбоцитарный фактор роста D (PDGF-D) в активную форму путем сплайсинга, способствуя развитию фиброза, что может объяснять развитие фиброза при ожирении, когда адипоциты синтезируют большое количество PDGF-D [9]. Тучные клетки активируют фибробласты с помощью триптазы, химазы, гистамина (рис. 3). [10] Особое внимание необходимо уделить химазе в виду её способности превращать ангиотензин I в ангиотензин II, подобно АТФ. Этим объясняется поддержание необходимого уровня АТ II даже в условиях использования блокаторов АТФ. Некоторые из этих клеток, помимо всего прочего, могут напрямую дифференцироваться в миофибробласты (перициты, сосудистые гладкомышечные клетки, клетки эндотелия) и способны к обратной дифференцировке, превращаясь в покоящиеся фибробласты [5]. Особый интерес представляет трансдифференциальный процесс, при котором эндотелиальные клетки перестают вырабатывать специфические им белки и начинают экспрессию генов, специфичных для мезенхимальных клеток, так называемый эндотелиально-мезенхимальный переход (EndMT), который регулируется (TGF)- $\beta$ 1. [11] Этот механизм лежит в основе перспективной стратегии перепрограммирования фибробластов человека в индуцированные кардиоподобные миоциты (iCLM) комбинацией транскрипционных факторов (Gata4, Mef2c, Tbx5 и Myocd), что, с одной стороны предотвращает трансдифференцировку фибробластов в миофибробласты, а с другой стороны, улучшает сократительную способность миокарда. [26]

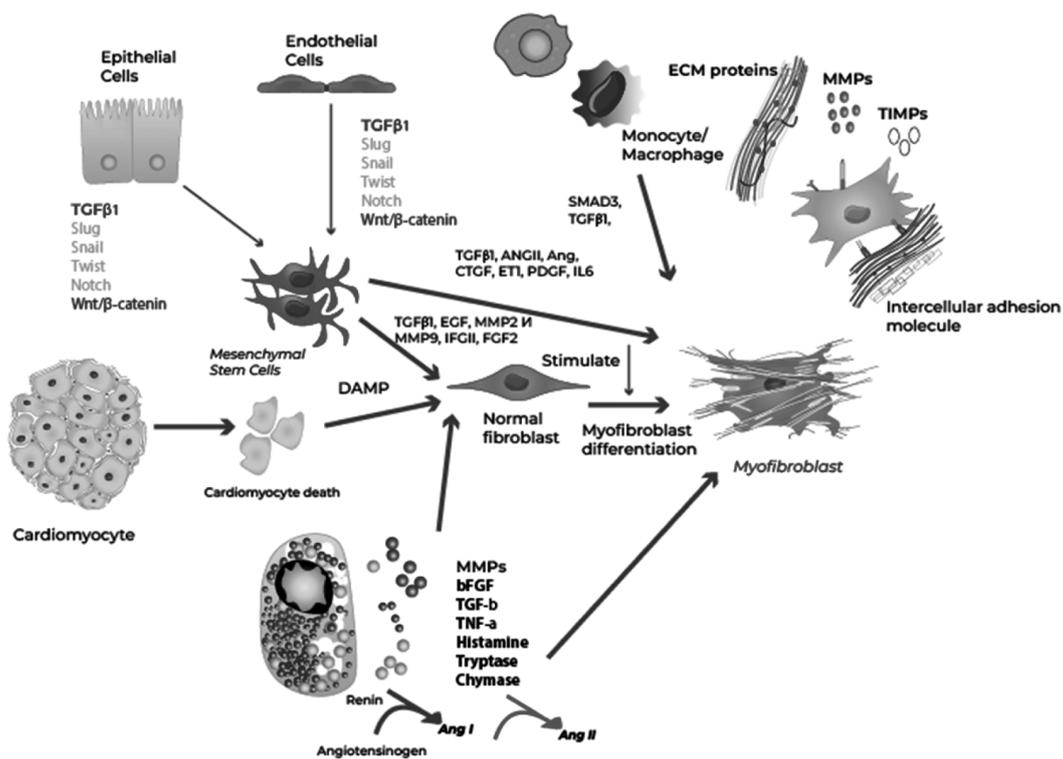


Рис. 1. Схема путей дифференцировки различных клеток в миофибробласты

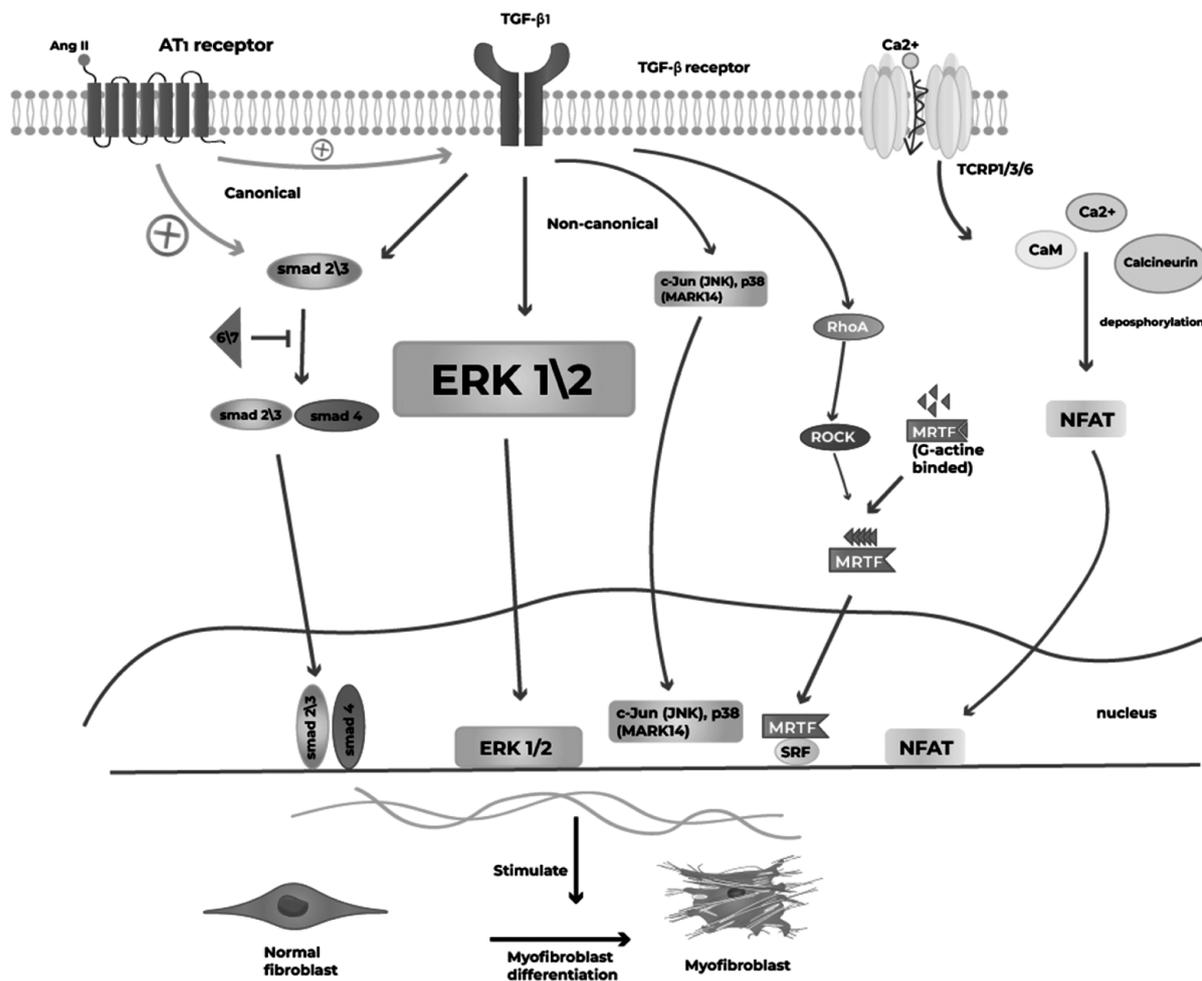


Рис. 2. Схема активации миофибробластов

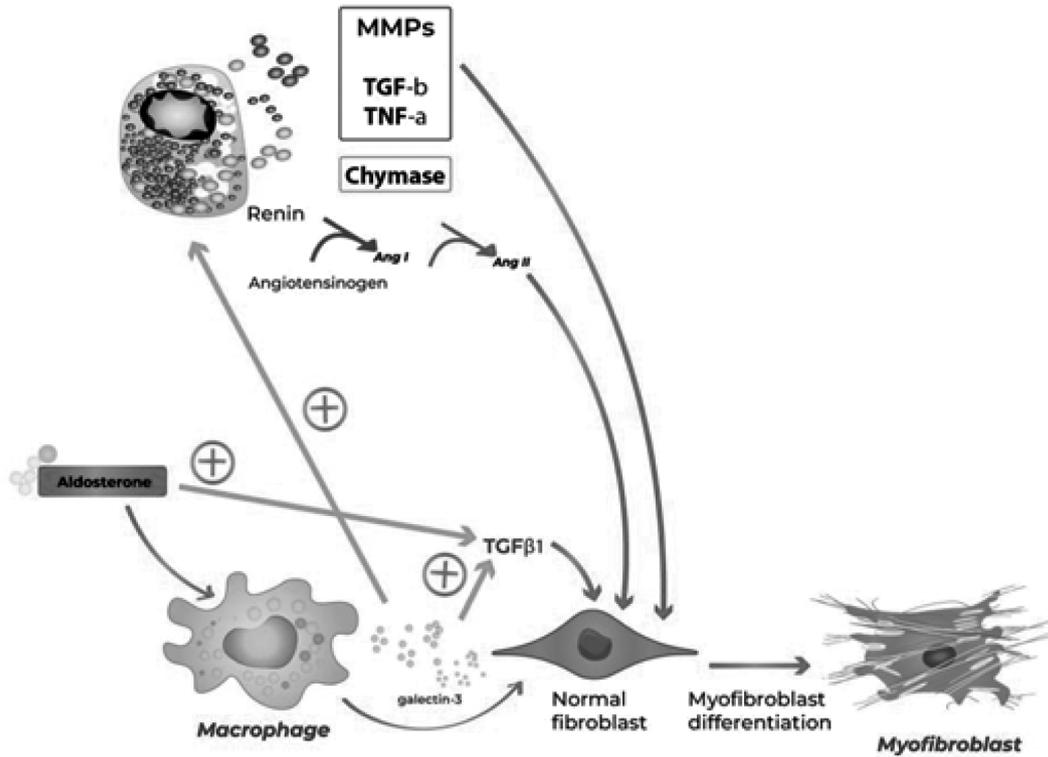


Рис. 3. Спектр секреции тучной клетки способствующий фиброзу

Стоит отметить, что по современным оценкам главным источником миофибробластов сердца являются именно резидентные фибробласты. [6]

Исходя из вышеизложенной информации мы можем сделать вывод о главенствующей роли (TGF)-β1 в развитии фиброза и необходимости сосредоточения на анализе путей механизмов передачи сигнала (TGF)-β1.

Так, механизме передачи сигнала (TGF)-β1 выделяют два пути: канонический и неканонический.

Канонический путь начинается взаимодействием (TGF)-β1 с соответствующими рецепторами 1 и 2 типа. Каскад реакций начинается с фосфорилирования и дальнейшей активацией белков семейства SMAD — SMAD2 и SMAD3, которые затем взаимодействуют со SMAD4. Данный комплекс мигрирует в ядро, влияя на внутриклеточную транскрипцию, влияя на генную программу Col1A (синтез коллагена), Acta2 (синтез гладкомышечного актина), VIM (синтез виментина). Помимо этого, существуют белки SMAD6 и SMAD7, которые предотвращают накопление избыточного количества SMAD2,3,4. Это подтверждается рядом работ.

Так, в ходе исследования было выяснено, что у мышей db/db (линия мышей с наличием ожирения, сахарного диабета 2-го типа и дислипидемии, C57Bl/Ks-db+/+m), у которых отсутствует SMAD3 повышается уровень MMP, развивается дилатация миокарда и аорты. Гистохимиче-

ский анализ также показывает уменьшенное содержание коллагена, что указывает на повышенную деградацию экстрацеллюлярного матрикса. [14]

Другое же исследование указывает на то, что фибробласт, перегруженный трансфицированным SMAD7, показывает относительно низкую экспрессию коллагена I и III типов. При этом экспрессия SMAD7 в постинфарктном рубце была снижена. [15]

Неканоничный путь же опосредуется через TGFβ-активируемую киназу (TAK-1), что далее активирует митоген-активируемые протеинкиназы (МАРК): c-Jun (JNK), p38 (МАРК14)

Другой путь транскрипционной регуляции активности фибробластов лежит через другой транскрипционный фактор — сывороточный фактор ответа (SRF), через активацию промоторов, содержащих определенную последовательность ДНК — CArG box, с которой SRF связывается через участок MADS-box. Главным стимулом увеличения экспрессии α-SMA является взаимодействие SRF с миокардин-родственным транскрипционным фактором (MRTF)-A. Этот фактор изначально взаимодействует с G-актином. Однако, в случае избыточной полимеризации F-актина заметно снижается количество G-актина. В таких условиях, когда (MRTF)-A не хватает субстрата для связывания, он проникает в ядро для дальнейшего связывания с SRF, контролируя активность фибробластов и их трансдифференцировку в миофибробласты.

При том, чем ниже уровень MRTF-A, тем менее выражен процесс рубцевания. [16]

Сам же MRTF-A часто находится в неактивной форме, активируясь, главным образом, за счет активационной реформации актинового цитоскелета с пробуждением сигнального пути через Rho-Rho киназу (ROCK), которая, в свою очередь, активируется RhoA через (TGF)-β1-зависимый путь. [28]

Так, например, симвастатин — препарат группы статинов, блокирующий ГМГ-КоА-редуктазу, способен снижать синтез изопреноидов — геранилгеранилпирофосфата (GGPP) и фарнезилпирофосфата (FPP) через ингибирование мевалонатного пути, который ответствен за пренилирование сигнальных белков Rho-ГТФаз, тем самым снижая уровень RhoA и, соответственно, пролиферацию миофибробластов. [17]

Повышение уровня Ca<sup>2+</sup> также способно влиять на фиброз. Так Ca<sup>2+</sup> способен связывать кальциневрин (Cn) с кальмодулином, приводя тем самым к освобождению сайта CnA, что стимулирует дефосфорилирование ядерного фактора активированных Т-клеток (NFAT), которые затем увеличивают экспрессию генов, способствующих гипертрофии миокарда (Col3, MRTF-A, ACTA2). Через этот путь действует фактор роста фибробластов 23 (FGF23). Однако, исходя из последних исследований можно получить данные о том, что корейская травяная формула Дохонсамул-тан, используемая для лечения синдрома застоя крови, ингибирует фиброз и ослабляет гипертрофию миокарда за счет ингибирования по двум сигнальным путям: Cn/NFAT и TGF-β/Smad2, но стоит отметить, что мишени, на которые действует вещество, остаются неизвестными [18].

Помимо этого, запуск дифференцировки фибробластов может быть вызван активацией ренин-ангиотензиальдостероновой системы за счет способности альдостерона к регуляции выработки (TGF)-β1, а также активации (TGF)-β1/ERK пути (рис. 4) и фактора роста соединительной ткани (CTGF) через активацию рецепторов к ангиотензину 1 типа (AT1) и минералокортикоидных рецепторов (MR) [4]. Альдостерон, к тому же, способствует миграции лейкоцитов за счет экспрессии молекулы адгезии сосудистых клеток (VCAM)-1, Е-селектина и молекулы межклеточной адгезии-1 (ICAM-1), что поддерживает воспалительный процесс [19]. Ангиотензин II повышает уровень мономеров SMAD2 и SMAD3, тем самым усиливая передачу через (TGF)-β1 [20].

Основной спецификой, отличающей миофибробласты от фибробластов, является наличие сократительной способности ввиду наличия в структуре клетки сократительных филаментов и повышенного уровня секреции компонентов экстрацеллюлярного матрикса.

Таким образом, процесс фиброза, в сущности, представляет собой нарушение баланса синтеза и деградации компонентов экстрацеллюлярного матрикса (ECM) с преобладанием синтеза.

Учитывая патогенез фиброза, мы можем выделить наиболее перспективные элементы для последующей неинвазивной диагностики фиброза по уже имеющимся литературным источникам.

**Галектин-3**

Галектины являются белками семейства лектинов и обладают огромным спектром в регуляции разных

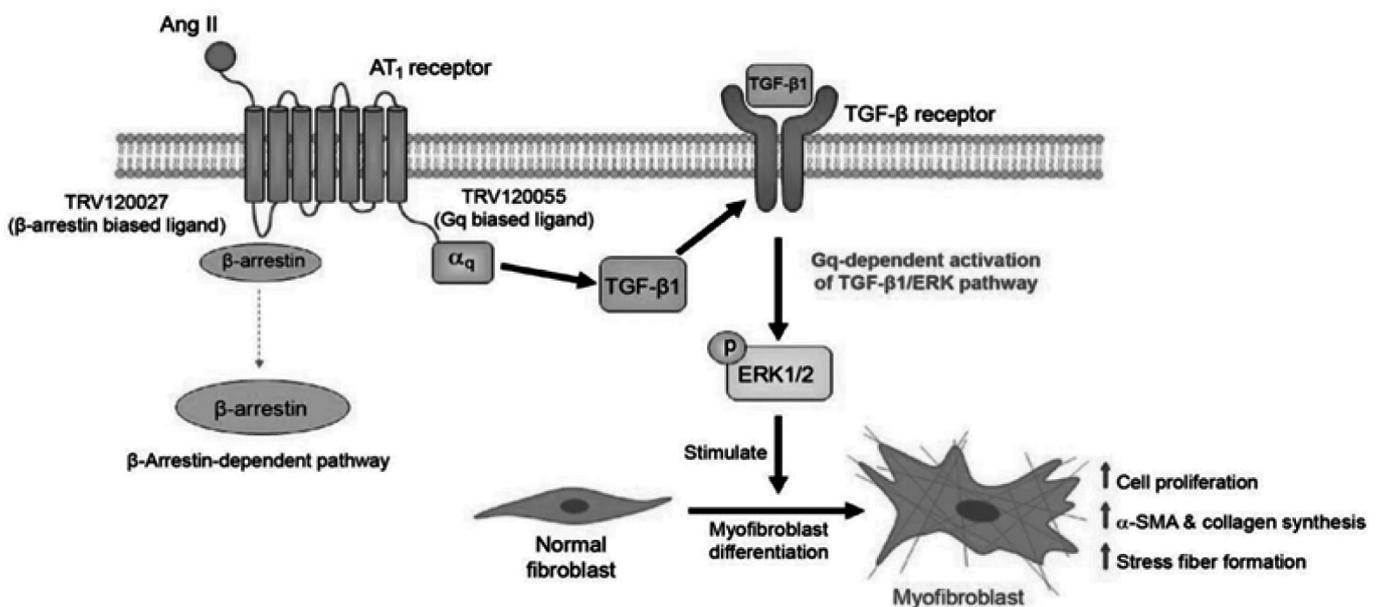


Рис. 4. Регуляция (TGF)-β1-зависимого пути с помощью Ангиотензина II

физиологических процессов, принимая участие в механизмах воспаления, дифференцировки и роста клеток, апоптозе, регенерации. Наиболее изученным на сегодняшний день является галектин-3, отличающийся от остальных представителей семейства наличием химерной структуры и способности к образованию пентамеров. Основным его источником являются макрофаги, фибробласты, эозинофилы, тучные клетки. Его эффект в развитии фиброза связан с образованием решетчатого комплекса, который способен связывать (TGF)- $\beta$ , тем самым пролонгируя его эффект. [22] Так блокада галектина-3 с помощью модифицированного цитрусового пектина предотвращала повышение уровня (TGF)- $\beta$  и CTGF, фибронектина, виментина,  $\alpha$ -актина гладкомышечных клеток, снижала экспрессию коллагена I типа [21]

Также галектин-3 оказывает иммуномодулирующее свойство, привлекая большее количество макрофагов, активируя их и стимулируя дегрануляцию тучных клеток [24].

Framingham Heart Study отмечает, что содержание галектина-3 более 17,8 нг/мл связано с высоким риском неблагоприятного исхода сердечной недостаточности [23]. В ходе первого проведенного исследования по уровню содержания галектина-3 среди населения было установлено, что существует слабая корреляция между повышением уровня галектина-3 и развитием гипертензии, гиперхолестеринемии, являющихся факторами риска для развития фиброза миокарда, что, вероятно, указывает на то, что эти факторы слабо влияют на уровень выделения галектина-3. [25]

При этом сам по себе галектин-3 не может быть использован для первичной диагностики фиброза миокарда и, тем более, для корреляционного анализа стадии развития фиброза. Рациональным применением послужит его использование для прогноза исхода сердечной недостаточности, т.к. уровень галектина-3 может быть повышен при фиброзе других органов (в т.ч. печени), аутоиммунных заболеваниях, метастазирующем раке, почечной дисфункции. [24]

#### **Маркеры продукции компонентов экстрацеллюлярного матрикса**

При синтезе белков экстрацеллюлярного матрикса выделяются маркеры, которые свидетельствуют о процессах дегградации или образования коллагена. Среди них: сывороточный аминотерминальный пропептид типа I (PINP) и типа III (PIIINP), а также карбокситерминальный телопептид типа I (ICTP)

Так в ходе исследования на 63 пациентах со стабильной ИБС выраженность фиброза коррелировала параллельно с увеличением PIIINP. Также у пациентов повышался уровень галектина-3. [29]

#### **Генная экспрессия**

Ранее проведенные исследования генной экспрессии на фоне постинфарктного фиброза свидетельствуют о повышении более чем в 3 раза генов, ответственных за экспрессию белков экстрацеллюлярного матрикса, являющихся маркерами миофибробластов (COL1A1, ACTA2, VIM, CTGF), а также TGFB1, TGFB1R1, AGTR1 [12]

Другое же исследование показывает заметное увеличение у пациентов ряда элементов, составляющих картину иммобилизирующего интерстициального фиброза (группа 1) в сравнении с пациентом без заболеваний ССС (группа 2) [27]. Были получены такие результаты:

- экспрессия MMP-9:  $14691 \pm 5256$  в  $1 \text{ мм}^2$  (I группа),  $7116 \pm 2831$  в  $1 \text{ мм}^2$  (II группа),  $p = 0,0001$
- количество фибронектина:  $3354 \pm 719$  в  $1 \text{ мм}^2$  (I группа),  $1635 \pm 557$  в  $1 \text{ мм}^2$  (II группа),  $p = 0,00003$
- прямое выявление объема волокон коллагена 1:  $4673 \pm 1292$  в  $1 \text{ мм}^2$  (I группа),  $2269 \pm 887$  в  $1 \text{ мм}^2$  (II группа),  $p = 0,0001$
- прямое выявление объема волокон коллагена 3: III типа:  $6959 \pm 1385$  в  $1 \text{ мм}^2$  (I группа),  $2566 \pm 568$  в  $1 \text{ мм}^2$  (II группа),  $p = 0,00001$ .

При этом специфичными для ранней стадии фиброза отмечаются MMP-9 и Тенасцин-С — гликопротеин, играющий роль в модуляции клеточной адгезии и передаче сигнальных путей (в норме не выделяется). [27]

#### **Обсуждение**

Одной из проблем вышеуказанных методик является погрешность, обоснованная сопряженными с фиброзом нарушениями в организме. Частым исходом фиброза является наличие возникновения декомпенсированной сердечной недостаточности (СН), что приводит к возникновению циркуляторной гипоксии и, как следствие, увеличению уровня воспалительных цитокинов, которые также могут стимулировать активацию фибробластов. Кроме того, в условиях развития СН с застоем крови в малом кругу кровообращения нарушается перфузия почек, что приводит к развитию почечной недостаточности и уменьшению выделительной функции. В совокупности эти факторы влияют на интерпретацию результатов рассмотрения отдельных компонентов иммунного ответа со степенью развития фиброза миокарда, часто предоставляя недостоверные результаты. Хотя, как отмечается, декомпенсация СН не влияет на уровень галектина-3. Также определенные маркеры не являются специфичными для фиброза и могут играть диагностическую роль лишь в комплексе с другими более избирательными маркерами, либо же быть компонентом дифференциальной диагностики.

## ВЫВОД

Проведя анализ данных литературных источников, можно сделать вывод о роли клеточного механизма в возникновении фиброза миокарда. При этом отмечается ряд лекарственных взаимодействий, связанных с определенными компонентами клеточной реакции, что позволяет подтвердить достоверность участия этих

компонентов в патогенезе фиброза миокарда. С другой стороны это даёт возможность рассмотреть новые подходы терапии фиброза миокарда, основываясь на точной теории для выбора точки приложения лечения. Нами также был установлен перечень закономерностей, которые способны показать свою эффективность для быстрой и качественной неинвазивной диагностики фиброза миокарда.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральная служба государственной статистики. Число умерших по основным классам причин смерти
2. Сержантова Наталья Александровна. «ОБЗОР МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ФИБРОЗА МИОКАРДА» Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль, no. 2 (44), 2023, pp. 104–115.
3. Frangogiannis NG. Cardiac fibrosis: Cell biological mechanisms, molecular pathways and therapeutic opportunities. *Mol Aspects Med.* 2019 Feb;65:70-99. doi: 10.1016/j.mam.2018.07.001. Epub 2018 Aug 2. PMID: 30056242.
4. Schreier B, Rabe S, Schneider B, Ruhs S, Grossmann C, Hauptmann S, Blessing M, Neumann J, Gekle M. Aldosterone/NaCl-induced renal and cardiac fibrosis is modulated by TGF- $\beta$  responsiveness of T cells. *Hypertens Res.* 2011 May;34(5):623–9. doi: 10.1038/hr.2011.16. Epub 2011 Feb 24. PMID: 21346767.
5. Lighthouse JK, Small EM. Transcriptional control of cardiac fibroblast plasticity. *J Mol Cell Cardiol.* 2016 Feb;91:52–60. doi: 10.1016/j.yjmcc.2015.12.016. Epub 2015 Dec 22. PMID: 26721596; PMCID: PMC4764462.
6. Moore-Morris T, Guimarães-Camboa N, Banerjee I, Zambon AC, Kisseleva T, Velayoudon A, Stallcup WB, Gu Y, Dalton ND, Cedenilla M, Gomez-Amaro R, Zhou B, Brenner DA, Peterson KL, Chen J, Evans SM. Resident fibroblast lineages mediate pressure overload-induced cardiac fibrosis. *J Clin Invest.* 2014 Jul;124(7):2921–34. doi: 10.1172/JCI74783. Epub 2014 Jun 17. PMID: 24937432; PMCID: PMC4071409.
7. Tai Y, Woods EL, Dally J, Kong D, Steadman R, Moseley R, Midgley AC. Myofibroblasts: Function, Formation, and Scope of Molecular Therapies for Skin Fibrosis. *Biomolecules.* 2021 Jul 23;11(8):1095. doi: 10.3390/biom11081095. PMID: 34439762; PMCID: PMC8391320.
8. Альфукаха М.М.М., and Муталова Э.Г.. «НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ФИБРОЗА МИОКАРДА» Медицинский вестник Башкортостана, vol. 15, no. 6 (90), 2020, pp. 154–162
9. Kong P, Christia P, Frangogiannis NG. The pathogenesis of cardiac fibrosis. *Cell Mol Life Sci.* 2014 Feb;71(4):549–74. doi: 10.1007/s00018-013-1349-6. Epub 2013 May 7. PMID: 23649149; PMCID: PMC3769482.
10. Legere SA, Haidl ID, Légaré JF, Marshall JS. Mast Cells in Cardiac Fibrosis: New Insights Suggest Opportunities for Intervention. *Front Immunol.* 2019 Mar 28;10:580. doi: 10.3389/fimmu.2019.00580. PMID: 31001246; PMCID: PMC6455071.
11. Piera-Velazquez S, Jimenez SA. Endothelial to Mesenchymal Transition: Role in Physiology and in the Pathogenesis of Human Diseases. *Physiol Rev.* 2019 Apr 1;99(2):1281–1324. doi: 10.1152/physrev.00021.2018. PMID: 30864875; PMCID: PMC6734087.
12. Барбараш О.Л., Кутихин А.Г., Печерина Т.Б., Тарасов Р.С., Кашталап В.В., Федорова Н.В., Богданов Л.А., Хрячкова О.Н., and Седых Д.Ю.. «МОЛЕКУЛЯРНЫЕ МАРКЕРЫ ФИБРОЗА ПРИ ПОСТИНФАРКТНОМ РЕМОДЕЛИРОВАНИИ МИОКАРДА» *Фундаментальная и клиническая медицина*, vol. 7, no. 1, 2022, pp. 17–30.
13. D'Souza KM, Biwer LA, Madhavpeddi L, Ramaiah P, Shahid W, Hale TM. Persistent change in cardiac fibroblast physiology after transient ACE inhibition. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2015 Oct;309(8):H1346–53. doi: 10.1152/ajpheart.00615.2015. Epub 2015 Sep 14. PMID: 26371174.
14. Biernacka A, Cavallera M, Wang J, Russo I, Shinde A, Kong P, Gonzalez-Quesada C, Rai V, Dobaczewski M, Lee DW, Wang XF, Frangogiannis NG. Smad3 Signaling Promotes Fibrosis While Preserving Cardiac and Aortic Geometry in Obese Diabetic Mice. *Circ Heart Fail.* 2015 Jul;8(4):788–98. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.114.001963. Epub 2015 May 18. PMID: 25985794; PMCID: PMC4512850.
15. Wang B, Hao J, Jones SC, Yee MS, Roth JC, Dixon IM. Decreased Smad 7 expression contributes to cardiac fibrosis in the infarcted rat heart. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2002 May;282(5):H1685–96. doi: 10.1152/ajpheart.00266.2001. PMID: 11959632.
16. Small EM, Thatcher JE, Sutherland LB, Kinoshita H, Gerard RD, Richardson JA, Dimaio JM, Sadek H, Kuwahara K, Olson EN. Myocardin-related transcription factor-a controls myofibroblast activation and fibrosis in response to myocardial infarction. *Circ Res.* 2010 Jul 23;107(2):294–304. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.110.223172. Epub 2010 Jun 17. PMID: 20558820; PMCID: PMC2921870.
17. Copaja M, Venegas D, Aránguiz P, Canales J, Vivar R, Catalán M, Olmedo I, Rodríguez AE, Chiong M, Leyton L, Lavandero S, Díaz-Araya G. Simvastatin induces apoptosis by a Rho-dependent mechanism in cultured cardiac fibroblasts and myofibroblasts. *Toxicol Appl Pharmacol.* 2011 Aug 15;255(1):57–64. doi: 10.1016/j.taap.2011.05.016. Epub 2011 May 30. PMID: 21651924.
18. Hong MH, Jang YJ, Yoon JJ, Lee HS, Kim HY, Kang DG. Dohongsamul-tang inhibits cardiac remodeling and fibrosis through calcineurin/NFAT and TGF- $\beta$ /Smad2 signaling in cardiac hypertrophy. *J Ethnopharmacol.* 2024 Jan 10;318(Pt A):116844. doi: 10.1016/j.jep.2023.116844. Epub 2023 Jul 13. PMID: 37453625.
19. Crompton M, Skinner LJ, Satchell SC, Butler MJ. Aldosterone: Essential for Life but Damaging to the Vascular Endothelium. *Biomolecules.* 2023 Jun 17;13(6):1004. doi: 10.3390/biom13061004. PMID: 37371584; PMCID: PMC10296074.
20. Wynn TA. Cellular and molecular mechanisms of fibrosis. *J Pathol.* 2008 Jan;214(2):199–210. doi: 10.1002/path.2277. PMID: 18161745; PMCID: PMC2693329.
21. Ibarrola J, Matilla L, Martínez-Martínez E, Gueret A, Fernández-Celis A, Henry JP, Nicol L, Jaisser F, Mulder P, Ouvrard-Pascaud A, López-Andrés N. Myocardial Injury After Ischemia/Reperfusion Is Attenuated By Pharmacological Galactin-3 Inhibition. *Sci Rep.* 2019 Jul 3;9(1):9607. doi: 10.1038/s41598-019-46119-6. PMID: 31270370; PMCID: PMC6610618.

22. Blanda V, Bracale UM, Di Taranto MD, Fortunato G. Galectin-3 in Cardiovascular Diseases. *Int J Mol Sci.* 2020 Dec 3;21(23):9232. doi: 10.3390/ijms21239232. PMID: 33287402; PMCID: PMC7731136.
23. Щукин Ю.В., Березин И.И., Медведева Е.А., Селезнев Е.И., Дьячков В.А., and Слатова Л.Н. «О значении галектина-3 как маркера и медиатора эндогенного воспаления и окислительно-нитрозилирующего стресса у больных хронической сердечной недостаточностью» *Российский кардиологический журнал*, no. 2 (100), 2013, pp. 45–49.
24. Драпкина О.М., Деева Т.А. ГАЛЕКТИН-3 — БИОМАРКЕР ФИБРОЗА У ПАЦИЕНТОВ С МЕТАБОЛИЧЕСКИМ СИНДРОМОМ. *Российский кардиологический журнал.* 2015;(9):96-102.
25. de Boer RA, van Veldhuisen DJ, Gansevoort RT, Muller Kobold AC, van Gilst WH, Hillege HL, Bakker SJ, van der Harst P. The fibrosis marker galectin-3 and outcome in the general population. *J Intern Med.* 2012 Jul;272(1):55–64. doi: 10.1111/j.1365-2796.2011.02476.x. Epub 2011 Nov 18. PMID: 22026577.
26. Liu M, López de Juan Abad B, Cheng K. Cardiac fibrosis: Myofibroblast-mediated pathological regulation and drug delivery strategies. *Adv Drug Deliv Rev.* 2021 Jun;173:504-519. doi: 10.1016/j.addr.2021.03.021. Epub 2021 Apr 5. PMID: 33831476; PMCID: PMC8299409.
27. Шевченко Ю.Л., Плотницкий А.В., Судилова В.В., Дубова Е.Д., and Ульбашев Д.С. «МОРФОЛОГИЯ И МАРКЕРЫ ИММОБИЛИЗИРУЮЩЕГО ИНТЕРСТИЦИАЛЬНОГО ФИБРОЗА СЕРДЦА» *Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н. И. Пирогова*, vol. 17, no. 3, 2022, pp. 84–93.
28. Moon MY, Kim HJ, Kim MJ, Uhm S, Park JW, Suk KT, Park JB, Kim DJ, Kim SE. Rap1 regulates hepatic stellate cell migration through the modulation of RhoA activity in response to TGF- $\beta$ 1. *Int J Mol Med.* 2019 Aug;44(2):491–502. doi: 10.3892/ijmm.2019.4215. Epub 2019 May 30. PMID: 31173168; PMCID: PMC6605627.
29. Lepojärvi ES, Piira OP, Pääkkö E, Lamentausta E, Risteli J, Miettinen JA, Perkiömäki JS, Huikuri HV, Junttila MJ. Serum PINP, PIIINP, galectin-3, and ST2 as surrogates of myocardial fibrosis and echocardiographic left ventricular diastolic filling properties. *Front Physiol.* 2015 Jul 13;6:200. doi: 10.3389/fphys.2015.00200. PMID: 26217237; PMCID: PMC4499700.

---

© Соколова Алена Игоревна (alena.ssokolova@yandex.ru); Ребров Дмитрий Станиславович (rebrov.dmitriy80@gmail.com);  
Лушникова Мария Алексеевна (marialushnicova@gmail.com); Черкасова Юлия Баходуровна (yulia2011vika@yandex.ru);  
Королева Марина Владимировна (dom943@rambler.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

# ОЦЕНКА УРОВНЯ ГОМОЦИСТЕИНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ КОРОНАРНОГО РУСЛА ПРИ ОСТРОМ КОРОНАРНОМ СИНДРОМЕ НА ФОНЕ НЕДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ ДИСПЛАЗИИ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ ТКАНИ

## ASSESSMENT OF HOMOCYSTEINE LEVELS DEPENDING ON THE DEGREE OF DAMAGE TO THE CORONARY BED IN ACUTE CORONARY SYNDROME ON THE BACKGROUND OF UNDIFFERENTIATED DYSPLASIA CONNECTIVE TISSUE

**O. Sultanova  
E. Chernysheva  
B. Kuzmichev  
P. Ismailova  
Mili Wassim Sharaf Eddin**

*Summary.* The article presents the results of a study of 156 patients with acute coronary syndrome (ACS) on the background of undifferentiated connective tissue dysplasia syndrome (UCTDS), in order to assess the level of homocysteine (Hcy) depending on the degree of damage to the coronary bed.

Enzyme immunoassay was used to study the HC level. Oxypoline was determined in the blood serum to confirm UCTD by enzyme immunoassay. The IBM Statistics 28 and StatTech v. 3.1.8 programs were used to conduct statistical data analysis. The Mann-Whitney test was used to conduct intergroup comparisons in 2 groups. The Kruskal Wallis test was used to conduct intergroup comparisons in 3 or more groups. The P-value was less than or equal to 0.05. Pearson's  $\chi^2$  criterion was used to compare qualitative data.

*Keywords:* acute coronary syndrome, undifferentiated connective tissue dysplasia, structural and functional parameters of the heart, homocysteine, coronary artery.

**Султанова Оксана Эседуллаевна**

кандидат медицинских наук, ассистент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
oksanka.sultanova@mail.ru

**Чернышева Елена Николаевна**

доктор медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
lena.chernysheva@inbox.ru

**Кузьмичев Богдан Юрьевич**

кандидат медицинских наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
bog13@list.ru

**Исмаилова Пирдауз Исмаиловна**

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
ismailova.pirdauz@bk.ru

**Мили Уассим Шараф Эддин**

Ординатор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Астраханский государственный медицинский университет»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
wassimnemili@gmail.com

*Аннотация.* В статье представлены результаты исследования 156 пациентов с острым коронарным синдромом (ОКС) на фоне синдрома недифференцированной дисплазии соединительной ткани (СНДСТ), с целью оценки уровня гомоцистеина (ГЦ) в зависимости от степени поражения коронарного русла. Для изучения уровня ГЦ был использован иммуноферментный анализ (ИФА). В сыворотке крови был определен оксипролин для подтверждения СНДСТ методом ИФА. Программы IBM Statistics 28 и StatTech v. 3.1.8 применялись для проведения статистического анализа данных. Для проведения межгрупповых сравнений в 2 группах применялся Mann-Whitney test. Для проведения межгрупповых сравнений в 3 и более группах использовался Kruskal Wallis test. P-value составил менее или равно 0,05. Для сравнения качественных данных использовался критерий  $\chi^2$  Пирсона.

*Ключевые слова:* острый коронарный синдром, недифференцированная дисплазия соединительной ткани, гомоцистеин, коронарное русло.

## Актуальность

**П**атология сердечно-сосудистой системы занимает лидирующие позиции по смертности и инвалидизации как в Российской Федерации, так и за рубежом. По данным Росстата в 2022 году от данной патологии умерло 831557 человек. Наиболее распространенной формой ИБС является острый коронарный синдром (инфаркт миокарда и нестабильная стенокардия), доля которого в структуре смертности составляет более 15 % каждый год [3; 10].

Хочется отметить тот факт, что заболевания сердечно-сосудистой системы очень часто развиваются на фоне генетически детерминированной патологии, к которой можно отнести недифференцированную дисплазию соединительной ткани [2]. Из литературных источников известно, что почти у 30 % пациентов с СНДСТ диагностируют анатомические особенности сосудов сердца в виде высокой частоты аномалий и пороков развития [1; 8], что может являться плацдармом для раннего развития атеросклеротического процесса.

В настоящее время, основные общепризнанные факторы риска поражения сердца и сосудов не всегда отражают все варианты осложнений [4] и изучение новых маркеров весьма актуально, к ним мы можем отнести гомоцистеин (ГЦ). ГЦ — это промежуточный продукт метаболизма протеиногенных аминокислот метионина и цистеина, в высоких концентрациях он обладает выраженным цитотоксическим действием, вызывает появление и прогрессирование атеросклероза и структурных нарушений миокарда [6; 9].

Таким образом, изложенная выше информация позволила сформулировать цель исследования.

*Цель исследования:* изучить и проанализировать уровень гомоцистеина у пациентов с ОКС на фоне СНДСТ в зависимости от степени поражения коронарного русла.

## Материалы и методы

Региональный Независимый Этический комитет одобрил проведение исследования. От обследованных пациентов получено письменное информированное согласие на участие в исследовании.

На основании критериев включения — ОКС (инфаркт миокарда или нестабильная стенокардия) не позднее 12 часов от момента развития ангинозного приступа у пациентов в возрасте от 35 до 65 лет. Было исследовано 156 пациентов, которые находились на стационарном лечении в кардиологическом отделении больницы г. Астрахань с 2021 по 2022 гг. Критериями исключения из исследования были состояния, которые могут до-

полнительно приводить к повышению уровня гомоцистеина: значимые пороки сердца (в том числе пролапс митрального клапана, сопровождающийся митральной регургитацией); некоронарогенные заболевания сердца; острые воспалительные и хронические заболевания в фазе обострения; злокачественные новообразования; болезни крови; неконтролируемая артериальная гипертензия; наличие сердечной недостаточности IIБ — III стадии и III — IV ФК до развития инфаркта миокарда; заболевания почек, печени, лёгких с тяжелым нарушением их функции.

Диагностика СНДСТ проводилась на основании клинических рекомендаций [5] — пациенты были разделены на группы в зависимости от наличия у них НДСТ (6 и более стигм дисэмбриогенеза), путем анкетирования по Елыкомову В.А. и Копылову А.Н. [7] и определения уровня антител человека к коллагенам II и III типа методом ИФА — оксипролина.

Таким образом, в исследование было включено 3 группы: 1 группа: 156 пациентов с ОКС и СНДСТ, 2 группа — 102 пациента с ОКС, 3 группа (группа контроля) — 50 соматически здоровых лиц. Группы сопоставимы по возрасту и полу.

Для изучения уровня ГЦ был использован иммуноферментный анализ.

В условиях рентгенооперационной, оборудованной установкой «Integris Allura FD 20» проводилась селективная коронарография (КАГ). Изменения коронарного русла оценивали по классификации Ю.С. Петросяна и Л.С. Зингермана: I степень — до 50 %, II степень — 50–75 %, III степень — более 75 %, IV степень — полная окклюзия коронарной артерии (КА).

Программы IBM SPSS Statistics 28 и StatTech v. 3.1.8 применялись для проведения статистического анализа данных. Данные представлены в виде медианы и процентилей [5;95]). Для проведения межгрупповых сравнений в 2 группах применялся Mann-Whitney test. Для проведения межгрупповых сравнений в 3 и более группах использовался Kruskal Wallis test. P-value составил менее или равно 0,05. Для сравнения качественных данных использовался критерий  $\chi^2$  Пирсона.

## Результаты исследования

Согласно таблице № 1 уровень ГЦ был статистически значимо повышен как у пациентов с ОКС на фоне СНДСТ, так и у пациентов с ОКС без СНДСТ по сравнению с группой контроля. Стоит отметить, что в группе пациентов с ОКС на фоне СНДСТ уровень ГЦ был статистически значимо выше, как по сравнению с пациентами с ОКС без НДСТ ( $p < 0,001$ ), так и с группой контроля ( $p < 0,001$ ).

Таблица 1.  
Уровень ГЦ у пациентов в исследуемых группах

Показатель / Группа	Группа контроль, n=50	Группа пациентов с ОКС без СНДСТ, n=102	Группа пациентов с ОКС на фоне СНДСТ, n=156
ГЦ, мкмоль/л	8,4 [5,8; 11]	26,8 [18,1; 35,5] $p_1 < 0,001$	38,4 [19,3; 59,1] $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,001$

Примечание:  $p_1$  — уровень статистической значимости различий с группой контроля;  $p_2$  — уровень статистической значимости различий с группой пациентов с ОКС без СНДСТ. Значение критерия Краскела-Уоллиса  $\chi^2=161,763$ ;  $df=2$ ;  $p < 0,001$ .

Далее мы провели анализ уровня ГЦ у пациентов с ОКС без СНДСТ в зависимости от степени поражения коронарного русла (таблица №2).

Таблица 2.  
Уровень ГЦ у пациентов с ОКС без СНДСТ в зависимости от степени поражения коронарного русла

Показатель / Подгруппа	1 сосудистое поражение КА, n=26	2 сосудистое поражение КА, n=33	3 сосудистое и более поражение КА, n=43
ГЦ, мкмоль/л	20,1 [16,5; 25,2]	25,3 [18,1; 31,3] $p_1 < 0,001$	29,5 [21,5; 35,5] $p_1 < 0,001$ $p_2 = 0,005$

Примечание:  $p_1$  — уровень статистической значимости различий с подгруппой пациентов с 1 сосудистым поражением КА;  $p_2$  — уровень статистической значимости различий с подгруппой пациентов с 2 сосудистым поражением КА. Значение критерия Краскела-Уоллиса  $\chi^2=172,125$ ;  $df=2$ ;  $p < 0,001$ .

По данным таблицы № 2 в подгруппе пациентов с 2 сосудистым поражением коронарных артерий (КА) уровень ГЦ был статистически значимо выше по сравнению с подгруппой пациентов с 1 сосудистым поражением КА ( $p < 0,001$ ). Наибольшее повышение уровня ГЦ было выявлено среди пациентов с 3 сосудистым и более поражением КА, что было статистически значимо выше как по сравнению с пациентами с 1 сосудистым поражением КА ( $p < 0,001$ ), так и с подгруппой пациентов с 2 сосудистым поражением КА ( $p = 0,005$ ).

В последующем, нами было проведена оценка уровня ГЦ у пациентов с ОКС на фоне СНДСТ в зависимости от степени поражения коронарного русла (таблица №3).

Согласно таблице №3 в подгруппе пациентов с 3 сосудистым и более поражением КА был установлен наиболее высокий статистически значимый уровень ГЦ,

что было статистически значимо выше по сравнению с остальными подгруппами пациентов ( $p < 0,001$ ).

Таблица 3.  
Уровень ГЦ у пациентов с ОКС на фоне НДСТ в зависимости от степени поражения коронарного русла

Показатель / Подгруппа	1 сосудистое поражение КА, n=31	2 сосудистое поражение КА, n=50	3 сосудистое и более поражение КА, n=75
ГЦ, мкмоль/л	24,7 [17,8; 37,2] $p_3 = 0,008$	30,5 [20,2; 40,1] $p_1 = 0,001$ $p_4 < 0,001$	41,5 [25,7; 59,1] $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,001$ $p_5 < 0,001$

Примечание:  $p_1$  — уровень статистической значимости различий с подгруппой пациентов с 1 сосудистым поражением КА;  $p_2$  — уровень статистической значимости различий с подгруппой пациентов с 2 сосудистым поражением КА;  $p_3$  — уровень статистической значимости различий подгруппы пациентов с 1 сосудистым поражением КА по сравнению с группой пациентов с ОКС без СНДСТ;  $p_4$  — уровень статистической значимости различий подгруппы пациентов с 2 сосудистым поражением КА по сравнению с группой пациентов с ОКС без СНДСТ;  $p_5$  — уровень статистической значимости различий подгруппы пациентов с 3 и более сосудистым поражением КА по сравнению с группой пациентов с ОКС без НДСТ. Значение критерия Краскела-Уоллиса  $\chi^2=175,654$ ;  $df=2$ ;  $p < 0,001$ .

Сравнивая уровень ГЦ между группами пациентов с ОКС на фоне СНДСТ с ОКС без СНДСТ были выявлены статистически значимые различия: наиболее высокий уровень ГЦ отмечался среди пациентов с ОКС на фоне СНДСТ по сравнению с ОКС без СНДСТ как с 1 сосудистым ( $p = 0,008$ ), 2 сосудистым ( $p < 0,001$ ), так и 3 и более сосудистым поражением КА ( $p < 0,001$ ).

### Заключение

Среди пациентов как с ОКС без СНДСТ, так и с ОКС на фоне СНДСТ уровень ГЦ был статистически значимо повышен по сравнению с группой контроля, при этом, самый высокий уровень ГЦ был выявлен среди пациентов с ОКС на фоне СНДСТ. При сопоставлении уровня ГЦ у пациентов как с ОКС без НДСТ, так и с ОКС на фоне СНДСТ в зависимости от степени поражения КА наиболее высокие значения ГЦ имели место в подгруппах пациентов с 3 и более сосудистым поражением КА, при этом более высокие статистически значимые уровни ГЦ были установлены в группе пациентов с ОКС на фоне СНДСТ по сравнению с ОКС без НДСТ как с 1 сосудистым, 2 сосудистым и 3 и более сосудистым поражением КА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов С.И., Лялюкова Е.А. и соавт. Структурные изменения коронарных сосудов у пациентов с дисплазией соединительной ткани (кросс-секционное наблюдение) // Лечащий врач. — 2016. — №2. — С. 27–29.
2. Арсентьев В.С. Наследственные нарушения соединительной ткани как конституциональная основа полиорганной патологии у детей / В.Г. Арсентьев, В.С. Баранов, Н.П. Шабалов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: СпецЛит, 2019. — 239 с.
3. Герасимов А.А. Эпидемиологические аспекты инфаркта миокарда в Российской Федерации: автореферат дис. кандидата медицинских наук : 14.02.02 / Герасимов Андрей Андреевич; [Место защиты: Центр. науч.-исслед. ин-т эпидемиологии МЗ РФ]. — Москва, 2019. — 24 с.
4. Карпов Ю.А., Барбараш О.Л., Бощенко А.А. и соавт. Евразийские клинические рекомендации по диагностике и лечению стабильной ишемической болезни сердца (2020-2021). Евразийский Кардиологический Журнал. 2021;(3):54–93. <https://doi.org/10.38109/2225-1685-2021-3-54-93>.
5. Клинические рекомендации Российского научного медицинского общества терапевтов по диагностике, лечению и реабилитации пациентов с дисплазиями соединительной ткани (первый пересмотр) / под ред. А.И. Мартынова. — Текст: непосредственный // Медицинский вестник Северного Кавказа. — 2018. — Т. 3, № 1.2. — С. 137–209.
6. Кузьмичев Б.Ю., Воронина Л.П., Тарасочкина Д.С., Полунина О.С., Прокофьева Т.В., Липницкая Е.А., Полунина Е.А. Гипергомоцистеинемия как фактор риска осложненного течения инфаркта миокарда на фоне хронической обструктивной болезни легких. Астраханский медицинский журнал. 2019;14(3):79–87. <https://doi.org/10.17021/2019.14.3.79.87>.
7. Патент на изобретение №2665387 Российская Федерация. Способ диагностики дисплазии соединительной ткани: заявл. 04.05.2017; опубл. 29.08.2018 / Елыкомова В.А., Копылова А.Н. — Текст: непосредственный.
8. Султанова О.Э., Чернышева Е.Н. Анатомические особенности коронарных сосудов у пациентов с острым коронарным синдромом на фоне синдрома недифференцированной дисплазии // Актуальные вопросы современной медицины: материалы IV Международной научно-практической конференции прикаспийских государств. — Астрахань: Изд-во Астраханского ГМУ, 2019. — С. 160–162.
9. Султанова О.Э., Чернышева Е.Н., Коханов А.В., Севостьянова И.В. Эволюция тренда исследований гомоцистеина в кардиологической практике // Современные проблемы науки и образования. — 2020. — №4; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=29937> (дата обращения: 30.03.2024).
10. Benjamin, E.J., et al. Heart Disease and Stroke Statistics—2017 Update: A Report from the American Heart Association. Circulation. (2017), 135, e146–e603. doi.org/10.1161/CIR.0000000000000485.

© Султанова Оксана Эседуллаевна (oksanka.sultanova@mail.ru); Чернышева Елена Николаевна (lena.chernysheva@inbox.ru);  
Кузьмичев Богдан Юрьевич (bog13@list.ru); Исмаилова Пирдауз Исмаиловна (ismailova.pirdauz@bk.ru);  
Мили Уассим Шараф Эддин (wassimnemili@gmail.com)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

**Abanin T.** — Junior Software Development Specialist at PROTECTION TECHNOLOGIES LLC

**Afonin B.** — Cardiovascular Surgeon, First City Clinical Hospital named after I.I. Volosevich, Russia, Arkhangelsk

**Albakova Z.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Anesthesiologist and Resuscitator, Chief Physician of the Karabulak City Hospital

**Aliyeva L.** — PhD, senior researcher, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku

**Ametova L.** — V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopol)

**Andreev A.** — Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

**Apalkov A.** — Senior Lecturer, Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia named after I.D. Putilin

**Babayeva I.** — PhD, associate professor, head of laboratory, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku

**Bashkeev A.** — graduate student, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University)

**Berdukaeva Kh.** — graduate student, FSBEI HE «Chechen State University» named after A.A. Kadyrov, Grozny

**Blinov N.** — oncologist of the abdominal department № 1 of the Samara Regional Clinical Oncology Center

**Bogomolova Yu.** — Assistant, Tver State Medical University

**Bondarenko B.** — Volgograd State Technical University

**Borovskaya O.** — Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow

**Braginsky P.** — graduate student, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University)

**Buhonov D.** — Postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ulyanovsk State Technical University»; Leading developer, TTK DIGITAL LLC

Our authors

**Bukarov N.** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the laboratory of immunogenetic examination. Ministry of Agriculture Moskovskoye JSC

**Butov V.** — Senior Lecturer, Rostov Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

**Bykovskiy I.** — V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopol)

**Bystrov D.** — Cand. Med. Sci., Cardiovascular Surgeon, First City Clinical Hospital named after I.I. Volosevich, Russia, Arkhangelsk

**Chemurzieva A.** — Ingush State University

**Cherkasova Ju.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Tambov State University named after G.R. Derzhavin

**Chernysheva E.** — Doctor of Medical Sciences, Astrakhan State Medical University Ministry of Health of Russia

**Daskieva Kh.** — Ingush State University

**Dolakov I.** — Candidate of Medical Sciences, Senior Lecturer, Ingush State University, surgeon

**Dronov A.** — postgraduate student, MSUT "STANKIN" (Moscow)

**Dudarova Kh.** — Phd, Associate professor, Ingush State University, Magas, Russia

**Dzarmotova Z.** — Phd, associate professor, Ingush State University, Magas, Russia,

**Egorov A.** — Head of the Department of Anesthesiology and Intensive Care for Women, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow region Naro-Fominsk Perinatal Center

**Fedko S.** — Candidate of military sciences, associate professor, doctoral student, Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin» (t. Voronezh)

**Frolov S.** — head of Abdominal department № 1 of Samara oncology center

**Gezgieva R.** — Candidate of Medical Sciences, senior lecturer, Ingush State University, surgeon

**Gladyshev M.** — Postgraduate student, FSBEI HE Astrakhan State University named after. V.N. Tatishcheva; Design engineer, SMELCOM ROBOTICS LLC, Astrakhan

**Goncharov A.** — Candidate of Technical Sciences, docent, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University)

**Goryachkin B.** — candidate of technical sciences, associate professor, Bauman Moscow State Technical University

**Grishin K.** — undergraduate, Bauman Moscow State Technical University

**Iksanova E.** — Deputy Chief Physician for Obstetric and Gynecological Care, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow region Naro-Fominsk Perinatal Center

**Ippolitova E.** — Researcher of Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology

**Isayeva V.** — PhD, researcher, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku

**Ismailova P.** — Resident, Astrakhan State Medical University Ministry of Health of Russia

**Jafarov M.** — Astrakhan State Medical University

**Jafarova A.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State University, (Makhachkala)

**Kaganov O.** — PhD, professor of Department of oncology of Samara State Medical University

**Karyugin D.** — graduate student, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (the First Cossack University)

**Keshchyan L.** — Candidate of Medical Sciences, Chief Physician, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow region Naro-Fominsk Perinatal Center; Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Khalilov R.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State University, (Makhachkala)

**Kinash I.** — Researcher of Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology

**Kobzev I.** — Postgraduate, Lomonosov Moscow State University

**Kolesnikov A.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Resuscitation and Neonatology of Donetsk State Medical University named after M. Gorky

**Komarov R.** — Dr. Med. Sci., Professor, Director of the Clinical Center, Cardiovascular Surgeon, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Konopako E.** — Tver State Medical University

**Kornienko S.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I

**Koroleva M.** — Senior Lecturer, Tambov State University named after G.R. Derzhavin

**Kozlov A.** — Candidate of Medical Sciences, head of Abdominal department № 2 of Samara oncology center

**Kucherenko E.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Anesthesiology, Resuscitation and Neonatology, Gorky Donetsk State Medical University

**Kuzmichev B.** — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Astrakhan State Medical University Ministry of Health of Russia

**Lobanov L.** — candidate of medical sciences, associate professor, Chita State Medical Academy

**Lobanov S.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chita State Medical Academy

**Lobanov Yu.** — candidate of medical sciences, associate professor, Chita State Medical Academy

**Lomova I.** — PhD Med. Sci. (Candidate of Medical Sciences), senior research associate of the Research Laboratory of Cerebrovascular Pathology research center Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

**Lushnikova M.** — Tambov State University named after G.R. Derzhavin

**Lyalichkina N.** — MD, Head of the Simulation and Training Center, State Budgetary Healthcare Institution of the Moscow Region Naro-Fominsk Perinatal Center

**Mamedova A.** — Researcher, Institute of Microbiology of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan, Baku

**Markovnik G.** — graduate student, Russian University of Transport, Moscow

**Matsuganov D.** — Cand. Med. Sci., Cardiovascular Surgeon, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

**Mikhienkov K.** — Russian University of Technology — MIREA (Moscow)

**Mili Wassim Sharaf Eddin** — Resident, Astrakhan State Medical University Ministry of Health of Russia

**Nischuk R.** — Moscow State Technical University names Bauman

**Novichkov D.** — Teacher, Krasnodar Higher Military Aviation School of Pilots

**Parshin S.** — Senior Lecturer, Siberian Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

**Pastushenko A.** — V.I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopol)

**Petrova E.** — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Krasnodar University of the Ministry of Internal Affairs of Russia

**Pimanov A.** — Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov», Neryungri

**Pleskacheva O.** — Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technical University»

**Plieva A.** — Doctor of Biological Sciences, Professor, Ingush State University, Magas, Russia

**Polokhov A.** — Senior Engineer, V.A. Trapeznikov Institute of the Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow

**Polyakova Ju.** — Candidate of Medical Sciences, anesthesiologist of the Children's Clinical Center in Makiivka

**Potapov D.** — graduate student, St. Petersburg State Transport University of Emperor Alexander I; Chief Specialist of the Information Security Directorate PJSC «Bank Saint-Petersburg»

**Pruss B.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technological University of Engineering»

**Rabadanova Z.** — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State University, (Makhachkala)

**Rebrov D.** — Tambov State University named after G.R. Derzhavin

**Romanov M.** — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia

**Romanov V.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technological University of Engineering»

**Rudakov I.** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bauman Moscow State Technical University (National Research University)

**Rutchkin I.** — V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopo)

**Samokhina V.** — Associate Professor, Ph.D. of Pedagogic Sciences Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northeastern Federal University named after M.K. Ammosov», Neryungri, Russia, Neryungri

**Savelyev I.** — Ph.D. (Technology), Associate Professor, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow

**Shadieva Ya.** — Ingush State University

**Shapovalov K.** — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chita State Medical Academy

**Shavoeva Kh.** — Tver State Medical University

**Shonbin A.** — Cand. Med. Sci., Cardiovascular Surgeon, Head of Department, First City Clinical Hospital named after I.I. Volosevich, Russia, Arkhangelsk

**Shvets D.** — oncologist of the abdominal department № 2 of the Samara Regional Clinical Oncology Center

**Soboleva G.** — Candidate of Technical Sciences, associate professor, FGBOU VO «Bryansk State Technological University of Engineering»

**Sokolova A.** — Assistant, pathologist, Tambov State University named after G.R. Derzhavin

**Sultanova O.** — Candidate of Medical Sciences, assistant, Astrakhan State Medical University Ministry of Health of Russia

**Suzdalsky D.** — graduate student, Russian Economic University. G.V. Plekhanov

**Temirkeeva Ya.** — Assistant, Ingush State University, Magas, Russia

**Tereshenko A.** — Postgraduate, Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk

**Tikhonova M.** — Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

**Tsyslyak E.** — Researcher of Irkutsk Scientific Centre of Surgery and Traumatology

**Ukuahamba Ya.** — Postgraduate student, Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod

**Uzorov K.** — Russian University of Technology — MIREA (Moscow)

**Velikaya A.** — V. I. Vernadsky Crimean Federal University (Simferopol)

**Verkhozina T.** — Candidate of Medicine, Associate Professor of Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuing Professional Education

**Zamoshchenko T.** — Deputy Head of the Laboratory of JSC Moskovskoye, Noginsk

## Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

**За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.**

Редакционная коллегия оста вляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

### Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

### Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

### Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» ( e-mail: [redaktor@nauteh.ru](mailto:redaktor@nauteh.ru) ).