

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 1-2 2025 (ЯНВАРЬ)

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
<http://www.nauteh-journal.ru>

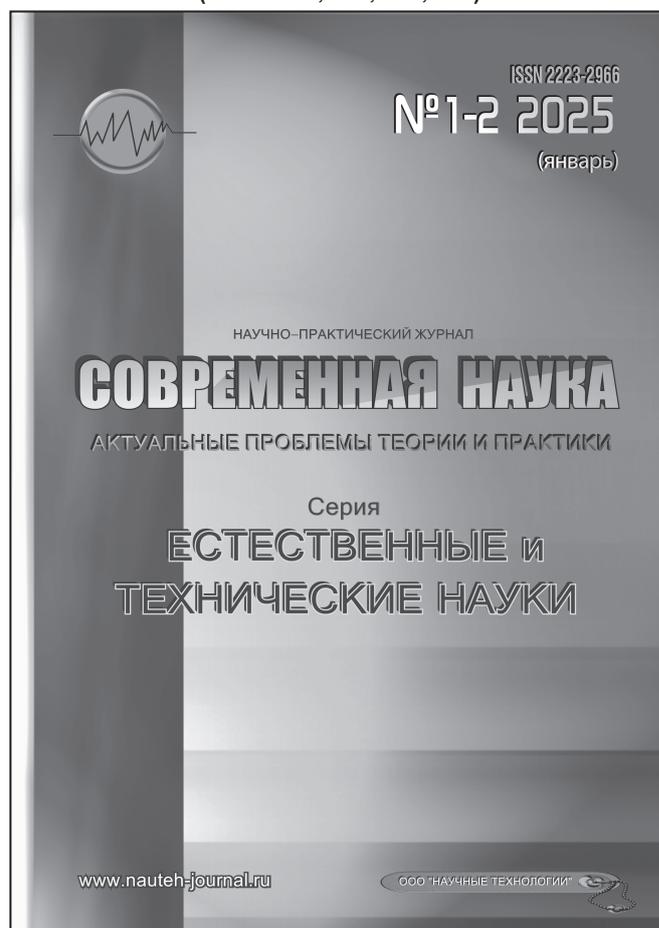
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

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 31.01.2025 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Царегородцев Анатолий Валерьевич — д.т.н., профессор, Московский государственный лингвистический университет redaktor3@nauteh.ru

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Общая биология

Алехина А.Е., Проскурин А.В., Полетыкин С.К., Суханова А.А., Сырцов С.Н. — Использование архитектуры YOLOv8 для идентификации штаммов продуцентов молочной кислоты
Alekhina A., Proskurin A., Poletykin S., Sukhanova A., Syrtsov S. — Use of YOLOv8 architecture for identification of lactic acid producing strains5

Газя Г.В., Кухарева А.Ю., Газя Н.Ф., Кожедеров А.И. — Применение новых искусственных нейронных сетей в промышленной экологии
Gazyu G., Kukhareva A., Gazyu N., Kozhederov A. — Application of new artificial neural networks in industrial ecology10

Должанов П.Б., Алексеева Н.В., Мироненко О.А. — Изучение экологического состояния реки Миус
Dolzhanov P., Alekseeva N., Mironenko O. — Study of the ecological state of the Mius river14

Осинкина Т.В. — Анализ изменений параметров неферментативной антиоксидантной системы высших растений при воздействии полихлорированных бифенилов
Osinkina T. — Analysis of changes in the parameters of the non-enzymatic antioxidant system of higher plants under the influence of polychlorinated biphenyls23

Информатика, вычислительная техника и управление

Воробьев В.В. — Интеграция Process Mining для анализа финансовых транзакций: вызовы и решения
Vorobyov V. — Integration of Process Mining for financial transaction analysis: challenges and solutions30

Гордеев-Бургвиц М.А., Аль-Думайни Омар Ахмед Хазаеа Шаиф — Регулирование системы микроклимата на основе нечеткой логики

Gordeev-Burgwitz M., Al-Dumaini Omar Ahmed Khazai Shaif — Regulation of the microclimate system based on fuzzy logic37

Гультяев А.А. — Иерархические сети типа трансформер для обнаружения аномалий на видеорядах с камер видеонаблюдения
Gultiaev A. — Hierarchial transformer networks for anomaly detection in surveillance videos.40

Максименко О.Е., Боронина Ю.С. — Двухэтапный информационный поиск с использованием ColBERT
Maksimenko O., Boronina Yu. — Two-step information retrieval using ColBERT44

Матвеева Е.В., Мурая Е.Н. — Применение системного анализа в работе государственных органов Российской Федерации
Matveeva E., Muraya E. — Application of system analysis in the work of government bodies of the Russian Federation48

Ошкин А.В., Павлов В.А. — Генетические алгоритмы как инструмент интеллектуального отбора руководящих кадров для проектов в сфере образования
Oshkin A., Pavlov V. — Genetic algorithms as a tool for intelligent selection of management personnel for educational projects.54

Романов Р.М. — Построение и применение нечетких когнитивных карт для оценки влияния капитальных проектов на финансовые результаты компании
Romanov R. — Construction and application of fuzzy cognitive maps for assessing the impact of capital projects on a company's financial performance.62

Хакимова З.Н., Шахова Е.А. — Дискретные инварианты в классе обыкновенных дифференциальных уравнений и их интегрирование
Khakimova Z., Shakhova E. — Discrete invariants in the class of ordinary differential equations and their integration68

- Черников А.В.** — Сравнительный анализ скорости сходимости параллельного адаптивного и традиционного генетических алгоритмов
Chernikov A. — Comparative analysis of the convergence rate of parallel adaptive and traditional genetic algorithms72
- Щеголев А.В.** — Построение кривой IS на основе макроэкономических данных экономики России 2011–2022 (I квартал) с использованием Python для проведения первичного анализа данных и построения регрессионных зависимостей компонент модели
Shchegolev A. — Construction of the IS curve based on macroeconomic data of the Russian economy 2011–2022 (I quarter) using Python for primary data analysis and regression relationships of model components81
- Клиническая медицина
- Азизова Д.А., Куандыкова Д.М., Галактионова А.А.** — Фотопротокол в стоматологии: как цифровая дентальная фотография преобразует хирургическую практику
Azizova D., Kuandykova D., Galaktionova A. — Dental photography protocol: how digital dental photogtaphy transforms surgical practice94
- Аксенова С.В., Кумакшева Т.Н., Хозина Е.А., Васильева О.А.** — Анализ нозологической структуры экстренных обращений с травмами органа зрения
Aksenova S., Kumaksheva T., Khozina E., Vasilyeva O. — Analysis of the nosological structure of eye injuries99
- Аскеров М.А., Хубулава Г.Г., Букур А.М., Делова М.А., Эфендиев В.У.** — Оценка выживаемости, ближайших и отдаленных результатов после коронарного шунтирования на работающем сердце у пациентов с ишемической болезнью сердца и тяжелой коморбидной патологией
Askerov M., Khubulava G., Bukur A., Delovaya M., Efendiev V. — Evaluation of survival, immediate and long-term outcomes after off-pump coronary artery bypass grafting in patients with ischemic heart disease and severe comorbid pathology 103
- Бир М.С.** — Отклонение артикуляционного центра Crysta Galli в сторону наклона окклюзионной плоскости
Bier M. — Deviation of the Crysta Galli articulation center towards the inclination of the occlusion plane 110
- Капралов С.В., Полиданов М.А., Юанов А.А., Петрунькин Р.П., Кашихин А.А., Масляков В.В.** — Экспериментальное обоснование способа моделирования минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза у самок-крыс
Kapralov S., Polidanov M., Yuanov A., Petrunkin R., Kashikhin A., Maslyakov V. — Experimental substantiation of the method of modeling of mine blast trauma of soft tissues and pelvic organs in female rats 115
- Полиданов М.А., Капралов С.В., Волков К.А., Петрунькин Р.П., Данилов А.Д., Юанов А.А.** — Экспериментальное обоснование способа моделирования тазового абсцесса на самках крыс
Polidanov M., Kapralov S., Volkov K., Petrunkin R., Danilov A., Yuanov A. — Experimental substantiation of the method of modeling pelvic abscess on female rats 120
- Россолько Д.С., Кулагина Д.В., Тухова Р.А.** — Особенности репродуктивного здоровья женщин-водителей современного электромагнитного транспорта
Rosolko D., Kulagina D., Tukhova R. — Features of reproductive health of women-drivers of modern electromagnetic transport 124
- Эльжуркаева Л.Р.** — Воздействие хромотерапии на понижение артериального давления во время сна у больных гипертонией
Elzhurkaeva L. — The effect of chromotherapy on lowering blood pressure during sleep in patients with hypertension 131
- Ярцева А.В., Толстунов Л.Г., Чепик Е.А., Шаныгина Д.В., Дыбова Е.В.** — Методы оценки состояния и лечения пациентов с бруксизмом
Yartseva A., Tolstunov L., Chepik E., Shanigina D., Dybova E. — Methods of evaluation and treatment of patients with bruxism 135
- Наши авторы 139

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ YOLOV8 ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ШТАММОВ ПРОДУЦЕНТОВ МОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ¹

USE OF YOLOV8 ARCHITECTURE FOR IDENTIFICATION OF LACTIC ACID PRODUCING STRAINS

A. Alekhina
A. Proskurin
S. Poletykin
A. Sukhanova
S. Syrtsov

Summary. This paper presents a deep neural network method for identifying lactic acid-producing microorganisms using the YOLOv8 architecture. It focuses on image database collection, annotation, data augmentation, and pre-training to improve model accuracy. The research aims to create an effective classification system based on visual characteristics. Results indicate that the model achieves an mAP of 89 % and recall of 84 %, highlighting its efficiency. The findings suggest that modern computer vision technologies can automate microorganism identification, streamlining laboratory and production processes.

Keywords: YOLOv8, lactic acid, microorganisms, computer vision, classification, biotechnology.

Алехина Анна Евгеньевна

аспирант, ассистент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»
dumooroo@gmail.com

Проскурин Александр Викторович

к.т.н., Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Полетыкин Семен Константинович

магистрант,
лаборант научной лаборатории «Машинное обучение»
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Суханова Анна Алексеевна

к.б.н, старший научный сотрудник лаборатории «Высокомолекулярные соединения» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Сырцов Сергей Николаевич

научный сотрудник лаборатории «Высокомолекулярные соединения» Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева»

Аннотация. Статья посвящена разработке метода глубокой нейронной сети на основе архитектуры YOLOv8 для идентификации штаммов молочнокислых микроорганизмов. Основное внимание уделяется сбору и аннотированию изображений, методам увеличения данных и предварительному обучению для повышения точности модели. Цель исследования — создание эффективной системы классификации микроорганизмов по визуальным характеристикам. Результаты показали, что модель достигает mAP 89 % и полноты охвата 84 %, что подтверждает ее высокую эффективность. Выводы демонстрируют потенциал современных технологий компьютерного зрения для автоматизации идентификации микроорганизмов, что может упростить лабораторную и производственную работу.

Ключевые слова: YOLOv8, молочная кислота, микроорганизмы, компьютерное зрение, классификация, биотехнология.

¹ Работа выполнена в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» СибГУ им. М.Ф. Решетнева.

Введение

Молочная кислота существует в двух энантиомерных формах: L- и D-. Необходимо получать L-молочную кислоту высокой чистоты (97 % и выше) и D-изомеры для кристаллического полилактида. При выборе производителя важно, чтобы он преимущественно синтезировал L- или D-молочную кислоту.

Традиционные методы микробиологической идентификации, такие как культуральные и биохимические тесты (ГОСТ 10444.11-89), являются время затратными и требуют значительных ресурсов. Современные технологии компьютерного зрения и машинного обучения привлекают всё больше внимания благодаря своей способности ускорять и повышать точность идентификации микроорганизмов.

В этом исследовании предлагается использовать архитектуру YOLOv8 для детекции штаммов, продуцирующих молочную кислоту. YOLOv8, одна из самых современных моделей для объектной детекции, отличается высокой скоростью и точностью, что делает её подходящей для микробиологии.

Целью исследования является разработка эффективной методики идентификации штаммов молочнокислых бактерий на основе визуальных характеристик с использованием глубоких нейронных сетей.

Материалы и методы

Для решения задачи обнаружения объектов была выбрана модель YOLOv8 [10], являющаяся одной из самых современных и эффективных архитектур для задач компьютерного зрения. YOLOv8 обеспечивает высокую точность и скорость, продолжая традиции предыдущих версий с улучшенными алгоритмами для точного и быстрого обнаружения объектов. Модель показала отличные результаты в обработке изображений как с точки зрения точности, так и скорости, что делает её идеальной для приложений реального времени.

Для реализации и обучения модели YOLOv8 был использован фреймворк PyTorch [11].

Объектами исследования являются следующие штаммы-продуценты молочной кислоты:

Музейные штаммы:

1. *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* 19-11 (ВКПМ В-2368): Грамположительные палочки, располагающиеся одиночно и в коротких цепочках, продуцируют рацемат молочной кислоты (L-изомер 46,8 %).

Lactobacillus paracasei subsp. *paracasei* 12 (ВКПМ В-4079): Грамположительные палочки с закругленными концами, располагающиеся одиночно и в парах, продуцируют L-изомер (энантиомерная чистота 97,2 %).

2. *Lactobacillus casei* subsp. *casei* (L. *casei*): Грамположительные палочки размером 0,7–1,1 × 2–4 мкм, располагающиеся цепочками, продуцируют L-изомер (96 % чистоты).

Эффективные штаммы из лаборатории «Высокомолекулярные системы»:

1. *Bacillus coagulans*: Грамположительные палочки среднего и большого размера, располагающиеся одиночно и в цепочках, продуцируют L-изомер (95,4 % чистоты).
2. *Leuconostoc mesenteroides*: Грамположительные кокки, располагающиеся парами и цепочками, продуцируют D-изомер (96,7 % чистоты).

Для задачи классификации бактерий был собран датасет из пяти штаммов в лаборатории «Высокомолекулярные системы» СибГУ им. М.Ф. Решетнева. Снимки получены с микроскопа МИКМЕД-5 при увеличении 100 крат с разрешением 3840x2160 пикселей. В итоге создано 2571 изображение, из которых некоторые с размытыми краями были обрезаны до 2160x2160 пикселей. Штамм *Bacillus coagulans* обрабатывался отдельно из-за больших цепочек. Из каждого снимка формировалось два изображения размером 2160x2160, сохраняя центр снимка.

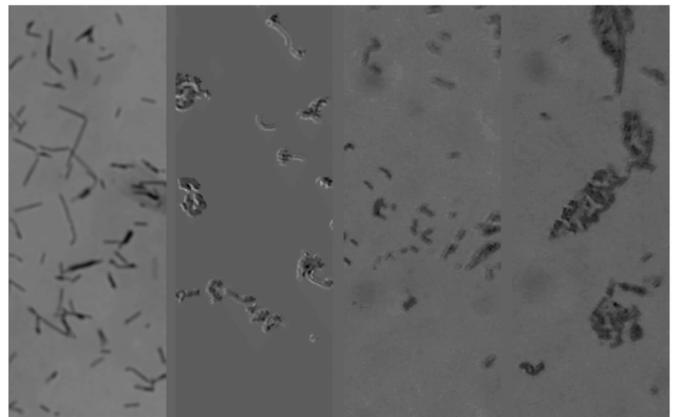


Рис. 1. Примеры вырезанных частей снимков: *L.delbrueckii*, *L.paracasei*, *L.casei*, *L. mesenteroides*

Таблица 1 содержит данные о количестве образцов и изображений для различных видов бактерий: *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus paracasei*, *Lactobacillus casei*, *Bacillus coagulans* и *Leuconostoc mesenteroides*. *Lactobacillus paracasei* представлен 85289 образцами, а *Bacillus coagulans* — 1054 изображениями. Эти данные могут быть использованы для дальнейшего анализа и сравнительных исследований в микробиологии и пищевой промышленности.

Таблица 1.
Количество образцов и изображений бактериальных видов в наборе данных

Название класса	Количество образцов	Количество изображений
Lactobacillus delbrueckii	73407	506
Lactobacillus paracasei	85289	468
Lactobacillus casei	55754	503
Bacillus coagulans	15284	1054
Leuconostoc mesenteroides	24203	504

Всего 3035 изображений разрешением 2160x2160. На них расположено 253 937 объектов пяти штаммов.

Для классов *L.casei*, *B. coagulans* и *Leuconostoc mesenteroides* были применены следующие параметры аугментации: HorizontalFlip($p=0.5$), RandomBrightnessContrast($p=0.5$), Rotate(limit=30, $p=0.5$), GaussianBlur(blur_limit=(3, 7), $p=0.5$), Resize(height=image.shape[0], width=image.shape[1])

Эти параметры помогли сделать исходный датасет более однородным.

Для оценки эффективности модели YOLOv8 были выбраны следующие метрики: средняя точность (*mAP*), точность (*precision*), отзыв (*recall*) и *F1-score*.

Средняя Точность (*mAP*) рассчитывается как среднее значение точности (Average Precision, *AP*) для всех классов:

$$mAP = 1/N \sum_{i=1}^N AP_i \quad (1)$$

$$AP = \int_0^1 p(r) dr \quad (2)$$

где N — количество классов.

Точность (*Precision*) определяется как отношение истинно положительных предсказаний (*TP*) к сумме истинно положительных и ложно положительных предсказаний:

$$Precision = TP / (TP + FP) \quad (3)$$

Отзыв (*Recall*) измеряет долю истинно положительных предсказаний от общего числа реальных положительных объектов:

$$Recall = TP / (TP + FN) \quad (4)$$

F1-мера является гармоническим средним между точностью и отзывом:

$$F1-score = 2 \times (Precision \times Recall) / (Precision + Recall) \quad (5)$$

Литературный обзор

В рамках исследования были рассмотрены работы, посвященные классификации и детекции штаммов бактерий с использованием методов компьютерного зрения. Работа [1] представила метод multi-MIL, который продемонстрировал высокие метрики, включая ROC AUC более 0.9. Работа [2] применила различные сверточные архитектуры (ResNet, VGG16, AlexNet) с Transfer Learning, достигая точности от 72 % до 100 %. Работа [3] использовала YOLOv4 для детекции *E. coli*, минимизировав ложно-негативные результаты до менее 10 %. Работа [4] применила LS-SVM на гиперспектральных изображениях для отслеживания *A. pasteurianus* и *L. paracasei* с точностью 90–96.67 %. Работа [5] использовала DBN для классификации *M. tuberculosis* с точностью 97.55 %. Работа [6] применила Faster R-CNN с VGG-16 для обнаружения туберкулеза, достигнув точности 82.6 %. Работа [7] использовала LeNet CNN для классификации двух видов бактерий с точностью 75 %. Работа [8] применила HMI и 1D-CNN для классификации патогенных бактерий, достигая 90 % для 1D-CNN. Работа [9] использовала YOLOv2 для классификации *E. coli* с *mAP* 67 %. Эти исследования демонстрируют разнообразие подходов и прогресс в области классификации и детекции бактерий с помощью глубокого обучения и компьютерного зрения.

Результаты

Модель обучалась в течение 64 эпох и демонстрирует стабильный прогресс. Значения потерь (boxloss, clsloss, dfl_loss) на тренировочных и валидационных данных указывают на успешное обучение, хотя и не без ошибок. Высокие значения точности (*precision* 0.83887) и отзыва (*recall* 0.84135) свидетельствуют о хорошей способности модели к детекции и идентификации объектов. Значение *mAP*50 (0.89787) показывает высокую точность при более простых условиях (порог *IoU* 0.5). Однако более низкое значение *mAP*50-95 (0.69372) указывает на необходимость улучшения модели при более строгих условиях (различные пороги *IoU* от 0.5 до 0.95). (Рисунки 2 и 3)

Заключение

В данной работе проведено исследование по идентификации штаммов, продуцирующих молочную кислоту, с использованием архитектуры YOLOv8. Исследование показало, что использование YOLOv8 для данной задачи является эффективным и перспективным подходом. Модель продемонстрировала высокую точность (*mAP* 89%) и скорость обработки, что делает её ценным инструментом для автоматизации процессов в микробиологии и биотехнологии.

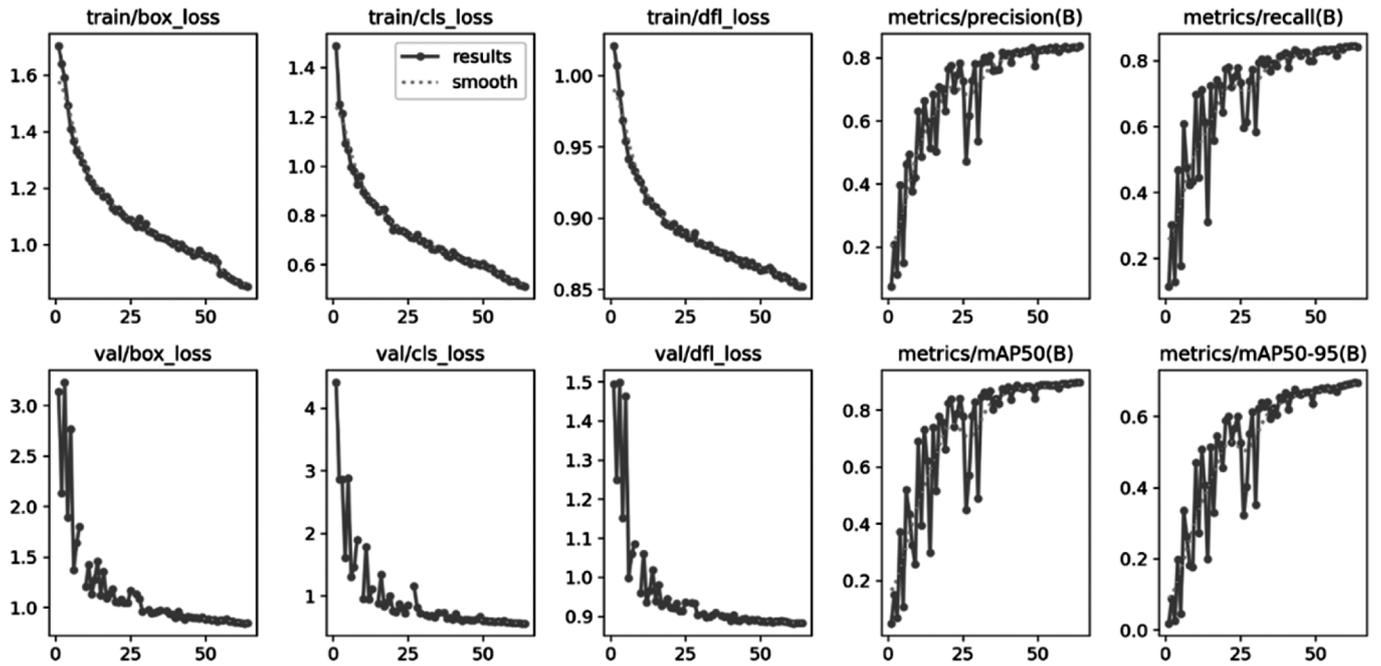


Рис. 2. Прогресс обучения модели: потеря и метрики производительности на протяжении эпох

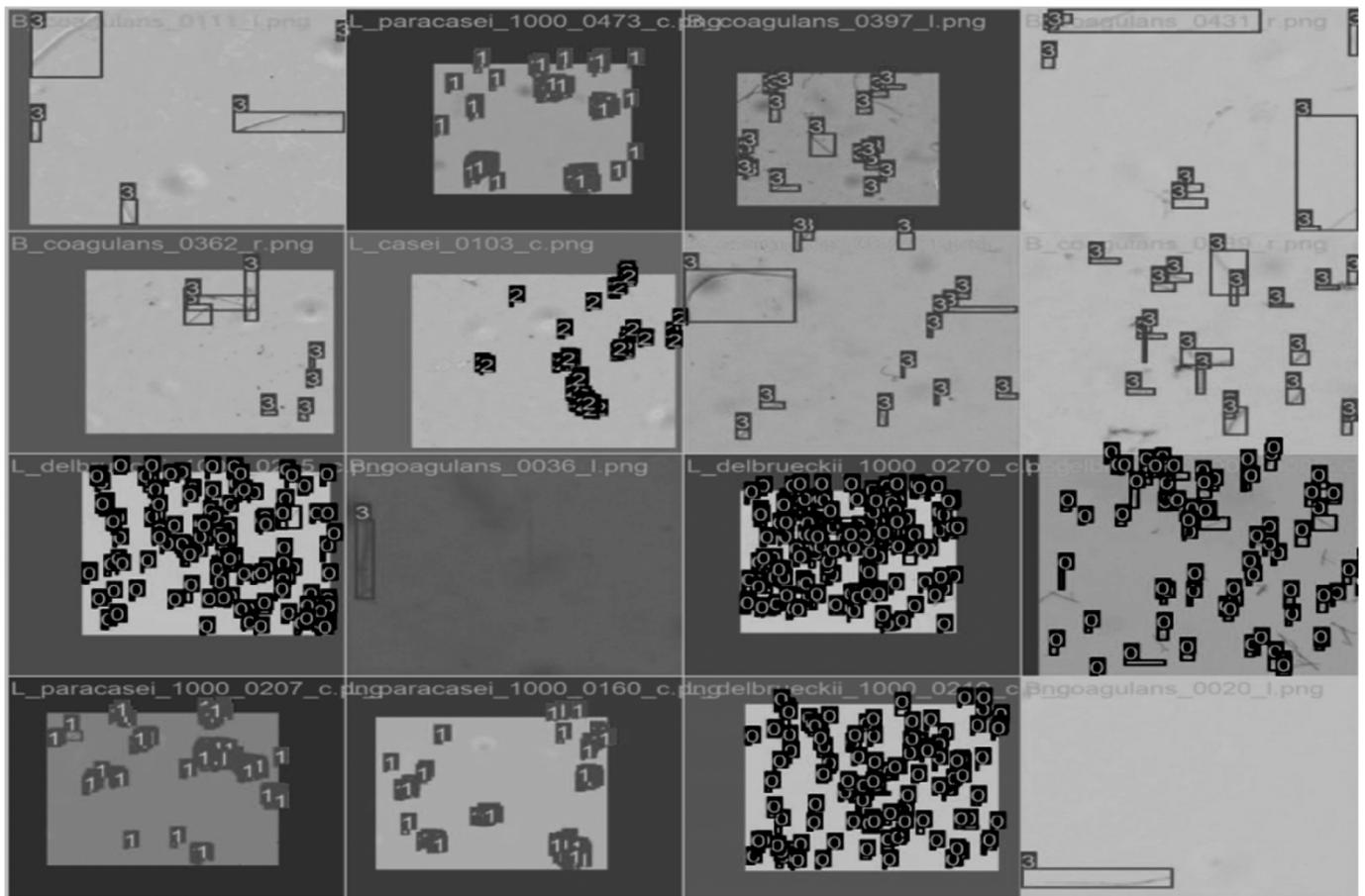


Рис. 3. Результаты производительности модели обнаружения объектов на тестовом наборе данных

Обсуждение

Полученные результаты имеют большое значение для производителей молочной кислоты, так как автоматизация процесса идентификации может значительно ускорить и упростить работу в лабораторных и произ-

водственных условиях, повышая эффективность и снижая затраты. Однако, остаются области для дальнейшего улучшения, например, улучшение качества аннотаций и расширение размера обучающей выборки для повышения точности модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Borawskaa A, Rymarczyk D, Ochonska D, Sroka-Oleksiak A, Brzychczy-Wloch M, Zielinski B. Identifying Bacteria Speciesinn Microscopic Polyculture Images Using Deep Learning. *IEEE J Biomed Health Inform.* 2023 Jan;27(1):121–130. doi: 10.1109/JBHI.2022.3209551. Epub 2023 Jan 4. PMID: 36155470.
2. S. A. Nagro et al., «Automatic Identification of Single Bacterial Colonies Using DeepLearning and Transfer Learning,» in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 120181–120190, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3221958. keywords: {Microorganisms;Transfer learning;COVID-19;Pulmonary diseases;X-ray imaging;Biomedical imaging;Deep learning;Convolutional neural networks;Deep learning;deep convolutional neural network;ResNet;VGG-16;AlexNet;DenseNet;SqueezeNet;dataset;bacterial classification;bacterial colonies;bacteriology}.
3. Ma L, Yi J, Wisuthiphaet N, Earles M, Nitin N, 2023. Accelerating the Detection of Bacteria in Food Using Artificial Intelligence and Optical Imaging. *Appl Environ Microbiol* 89:e01828–22. <https://doi.org/10.1128/aem.01828-22>
4. Li, Yanxiao & Hu, Xuetao & Shi, Jiyong & Qiu, Baijing & Xiao, Jianbo. (2021) p.m). Visual detection of microbial community during three bacteria mixed fermentation through hyperspectral imaging technology. *eFood*. 2. 10.53365/efood.k/143830.
5. Mithrak. &, Sam Emmanuel W. 2019. Automated identification of mycobacterium bacillus from sputum images for tuberculosis diagnosis. *Signal, Image and Video Processing* 13:1585_1592 DOI 10.1007/s11760-019-01509-1.
6. El-Melegy M, Mohamed D, ElMelegy T. 2019. Automatic detection of tuberculosis bacilli from microscopic sputum smear images using faster R-CNN. In: *Transfer learning and augmentation*. Cham: Springer International Publishing, 270_278.
7. Treebupachatsakul T, Poomrittigul S. 2019. Bacteria classification using image processing and deep learning. In n: 2019 34th international technical conference on circuits/systems, computers and communications (ITC-CSCC). Piscataway: IEEE, 1_3.
8. Kang R, Park B, Eady M, Ouyang Q, Chen K. 2020a. Classification of foodborne bacteria using hyperspectral microscope imaging technology coupled with convolutional neural networks. *Applied Microbiology and Biotechnology* 104:3157–3166 DOI 10.1007/s00253-020-10387-4.
9. Spahn C, Gómez-de Mariscal E, Laine RF, Pereira PM, von Chamier L, Conduit M, Pinho MG, Jacquemet G, Holden S, Heilemann M. 2022. DeepBacs for multi-task bacterial image analysis using open-source deep learning approaches. *Communications Biology* 5:688 DOI 10.1038/s42003-022-03634-z.
10. R. Varghese and S. M., «YOLOv8: A Novel Object Detection Algorithm with Enhanced Performance and Robustness,» 2024 International Conference on Advances in Data Engineering and Intelligent Computing Systems (ADICS), Chennai, India, 2024, pp. 1–6, doi: 10.1109/ADICS58448.2024.10533619.
11. Paszeke, A. et al., 2019. PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library. In *Advances in Neural Information Processing Systems* 32. Curran Associates, Inc., pp. 8024–8035. Available at: <http://papers.neurips.cc/paper/9015-pytorch-an-imperative-style-high-performance-deep-learning-library.pdf>.

© Алехина Анна Евгеньевна (dumoooroo@gmail.com); Проскурин Александр Викторович; Полетыкин Семен Константинович;
Суханова Анна Алексеевна; Сырцов Сергей Николаевич
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПРИМЕНЕНИЕ НОВЫХ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКОЛОГИИ

APPLICATION OF NEW ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS IN INDUSTRIAL ECOLOGY

**G. Gazya
A. Kukhareva
N. Gazya
A. Kozhderov**

Summary. The authors considered the possibility of using new modes of artificial neural networks when studying the parameters of heart rate variability in male gas processing plant workers working in harmful working conditions and in the process of adapting to factors of the production environment and labor process. Preliminary (in chaos and reverberation mode) tuning of artificial neural networks, taking into account the available set and type of data, made it possible to identify a significant diagnostic sign in men exposed to chronic exposure to harmful production factors using the software product. It was a generalized parameter of the parasympathetic neurovegetative system.

Keywords: new artificial neural networks, heart rate parameters, diagnostic features, industrial ecology.

Газя Геннадий Владимирович

к.биол.н., Индустриальный институт —
филиал Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Югорский государственный университет»,
г. Нефтеюганск
86wsr@rambler.ru

Кухарева Алеся Юрьевна

Аспирант, Бюджетное учреждение высшего образования
Ханты-Мансийского автономного округа — Югры
«Сургутский государственный университет»
alja.87@mail.ru

Газя Наталья Федоровна

Аспирант, Бюджетное учреждение высшего образования
Ханты-Мансийского автономного округа — Югры
«Сургутский государственный университет»
nata_stratan@mail.ru

Кожедеров Александр Игоревич

старший преподаватель, Индустриальный
институт — филиал Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Югорский государственный
университет», г. Нефтеюганск
A_Kojederov@ugrasu.ru

Аннотация. Авторами рассмотрена возможность применения новых режимов искусственных нейронных сетей при исследовании параметров variability сердечного ритма у работников газоперерабатывающего завода мужского пола, работающих во вредных условиях труда и находящихся в процессе адаптации к факторам производственной среды и трудового процесса. Предварительная (в режиме хаоса и реверберации) настройка искусственных нейросетей, с учетом имеющегося набора и типа данных, позволили при помощи программного продукта выявить у мужчин, подверженных хроническому воздействию вредных производственных факторов, значимый диагностический признак. Это был обобщенный параметр парасимпатической нейровегетативной системы.

Ключевые слова: новые искусственные нейронные сети, параметры сердечного ритма, диагностические признаки, промышленная экология.

Введение

Работа на газоперерабатывающих предприятиях Севера РФ (у нас на примере ХМАО-Югры) сопряжена с целым рядом неблагоприятных факторов производства. К этим факторам внешней среды обитания относятся в первую очередь особые экологические условия проживания, которые сейчас нами и изучаются.

Это и резкие перепады температуры и влажности воздуха, особенно в зимний период. При этом очень ча-

сто такая работа сопровождается работой в ночные смены, что приводит к десинхронозу, нарушениям суточного ритма основных функций организма работающих. При этом в первую очередь страдает сердечно-сосудистая система (ССС) этих работников, которая характеризуется ранней патологией для жителей Севера РФ.

Весьма неблагоприятным фактором является влияние промышленных электромагнитных полей (ПЭМП) низкой интенсивности. Эти ПЭМП активно действуют на организм работников газоперерабатывающего за-

вода и других нефтегазовых комплексов ХМАО-Югры. Именно эта проблема изучалась нами в настоящем исследовании. Обследованию подвергались четыре группы работников (мужчины), две возрастные группы при воздействии ПЭМП и две группы без воздействия.

Следует отметить, что проблема влияния ПЭМП на организм человека является весьма малоизученной проблемой (не только в РФ, но и во всей Мировой науке) [1–5]. В целом, действие ЭМП на организм человека еще не изучено в достаточной мере именно с позиции промышленной экологии. В первую очередь речь идет об эффектах со стороны ССС. Именно заболевания ССС на Севере РФ весьма распространены и требуют особого изучения, а влияние ПЭМП усиливает эффекты ранней патологии ССС [6–9].

Наше сообщение посвящено изучению влияния ПЭМП низкой интенсивности на работу сердца. Изучались шесть основных параметров ССС в аспекте возраста и влияния ПЭМП [1–6].

1. Проблемы статистики

Прежде чем представить результаты исследований следует отметить, что сердечно-сосудистая система (ССС) человека на Севере РФ является наиболее уязвимой системой, которая обеспечивает жизнедеятельность организма. Патология ССС у жителей Севера РФ начинает проявляться в более ранние возрастные периоды. Поэтому возрастные аспекты мы изучаем в первую очередь на примере двух групп без воздействия ПЭМП и 2-х групп с воздействием ПЭМП.

В наших исследованиях были две референтные (без ПЭМП) возрастные группы: мужчины до 35 лет и старшая возрастная группа (после 35 лет). Этот возраст (35 лет) нами был определен как возраст, в котором в Югре (ХМАО) уже выявляется патология ССС. Подчеркнем, что для всех параметров ССС нами был выявлен эффект Еськова-Зинченко (ЭЕЗ) [7–11].

Этот ЭЕЗ проявляется в отсутствии статистической устойчивости любых параметров функций организма человека. В нашем случае речь идет о шести параметрах ССС, к которым в первую очередь относятся кардиоинтервалы (КИ) и стандарт отклонения КИ (SDNN). Сюда же мы относим и число ударов в минуту (SSS) вместе с индексом Баевского (IBN). Эта группа параметров составила группу временных параметров, где время t — аргумент.

Отдельный блок наших исследований составили обобщенный параметр состояния симпатической нервной вегетативной системы (НВС) — SIM и парасимпатической НВС — PAR. Оба этих параметра характеризуют

регуляцию ССС со стороны НВС. Отметим, что на Севере РФ (в Югре) почти у всех жителей преобладает параметр PAR. Его величины в 80–90 % имеют большие значения в сравнении с SIM.

Отдельно мы изучали выборки по SIM, PAR, SSS, SDNN и IBN для каждой группы испытуемых. Производился расчет по параметрической и непараметрической статистике для всех 4-х возрастных групп: 1 — мужчины до 35 лет под воздействием ПЭМП; 2 — мужчины старше 35 лет под воздействием ПЭМП; 3 — мужчины до 35 лет без воздействия ПЭМП; 4 — мужчины старше 35 лет без воздействия ПЭМП.

В целом, мы изучали возрастную динамику этих 5-ти параметров ССС и сравнивали выборки этих параметров между всеми четырьмя группами. По каждому параметру мы составляли таблицы парных сравнений выборок этих параметров ССС по критерию Манна-Уитни p_{ij} . Если $p_{ij} \geq 0,05$, то такая пара может иметь общую генеральную совокупность.

Отметим, что многие параметры (для всех четырех возрастных групп) имеют непараметрическое распределение. Однако, в ряде случаев мы имели и нормальное распределение. Подчеркнем, что проверка на нормальность производилась для всех 20-ти выборок, т.е. для всех 4-х групп.

Оказалось, что из этих 20-ти выборок (по 30 человек в каждой) для четырех групп по 5-ти параметрам, только 10 выборок имеют критерий Шапиро-Уилка $p < 0,05$. Это означает, что нет нормального распределения (обычно это полимодальные распределения).

Характерно, что такой результат встречается у всех параметров кроме SSS. Отсутствие нормального распределения ярко выражено у параметров SIM и IBN. У этих параметров для 3-х групп мы имеем ненормальные распределения. Для SSS преобладает параметрическое распределение, что представлено в табл. 1.

С позиций статистики мы должны все параметры рассчитывать в рамках непараметрической статистики если уже часть выборок имеет непараметрическое распределение. У нас, фактически, половина параметров показывают непараметрическое распределение (50 %).

2. Результаты статистического сравнения групп по 5-ти параметрам ССС

Сразу отметим, что мы сравнивали разные возрастные группы мужчин и группы с воздействием ПЭМП и без воздействия. В целом, мы имеем общую картину сравнения всех четырех групп. Оказалось, что только параметр SSS задает разнообразие, т.к. все остальные пары сравнения показали $p_{ij} \geq 0,05$ (см. табл. 2 как пример).

Таблица 1.

Результаты проверки на нормальность распределения параметров ССС и НВС работников газоперерабатывающего завода (мужчин) по критерию Шапиро-Уилка ($p < 0,05$)

Исследуемая группа	SIM	PAR	SSS	SDNN	IBN
Группа 1	0,030	0,056	0,889	0,000	0,383
Группа 2	0,003	0,210	0,397	0,094	0,007
Группа 3	0,013	0,000	0,060	0,000	0,004
Группа 4	0,191	0,201	0,901	0,000	0,003

Примечание: группа 1 — мужчины до 35 лет под воздействием источников ЭМП, группа 2 — мужчины после 35 лет под воздействием источников ЭМП, группа 3 — мужчины до 35 лет без воздействия источников ЭМП, группа 4 — мужчины после 35 лет без воздействия источников ЭМП.

Разнообразие означает, что имеются пары выборок для SSS с критерием Манна-Уитни $p_{ij} \geq 0,05$ и с критерием $p_{ij} < 0,05$. В первом случае эти две выборки (i -я и j -я) могут иметь общую генеральную совокупность. При $p_{ij} < 0,05$ такая общая генеральная совокупность отсутствует.

В качестве примера мы представляем табл. 2 для SIM, где число пар выборок k по критерию Манна-Уитни $p_{ij} < 0,05$ будет $k=6$. Все 6 пар имеют критерий $p_{ij} \geq 0,05$. Это означает, что такие пары могут статистически совпадать (имеют общую генеральную совокупность) и это нами обозначается в новой теории хаоса-самоорганизации (ТХС) как неопределенность 1-го типа. Статистика здесь не работает.

Таблица 2.

Результаты попарного сравнения средних значений рангов допустимого уровня значимости параметра SIM обследованных 1–4 групп с помощью непараметрического U критерия Манна — Уитни

Исследуемая группа	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
Группа 1	—	0,292	0,288	0,844
Группа 2	0,292	—	0,465	0,935
Группа 3	0,288	0,465	—	0,770
Группа 4	0,844	0,935	0,770	—

Примечание: p — достигнутый уровень значимости (при критическом уровне $p < 0,05$); * — группы p статистически принадлежат к разным генеральным совокупностям.

Отметим, что все четыре таблицы сравнения для SIM, PAR, SDNN, IBN не имеют $p_{ij} < 0,05$. Более того, таблицы для SDNN и для IBN содержат элемент $p_{ij}=1$. Это говорит

о полном статистическом совпадении сравниваемых пар выборок. Для примера мы представляем табл. 2, как характерную таблицу, где все сравниваемые пары (группы) имеют $p_{ij} \geq 0,05$, т.е. они имеют общую генеральную совокупность.

В таблице для SIM мы получили все критерии Манна-Уитни $p_{ij}=1$. Это говорит о полном статистическом совпадении сравниваемых пар выборок IBN, нет статистических различий. В новой теории хаоса-самоорганизации мы говорим в этом случае о неопределенности 1-го типа, т.е. статистика не показывает различий между группами. Раскрытие этой неопределенности требует применения новых искусственных нейросетей (ИНС), на новых принципах работы [10–16].

В этом случае мы привлекаем искусственные нейронные сети (ИНС) в режиме бинарного сравнения. Для этого мы вводим все выборки по пяти изученным параметрам в ИНС и сравниваем разные группы испытуемых (попарно) для всех этих 5-ти параметров. При этом мы задаем начальные веса w_{ij} диагностических признаков хаотически.

Такое попарное сравнение (в пятимерном фазовом пространстве состояний) позволяет не только разделить сравниваемые группы, но и найти главные диагностические признаки. Эта процедура называется нахождением параметром порядка (ПП). Это выполняется после 100-а (и более) итераций — настройки ИНС. Подчеркнем, что находить ПП современная наука сейчас уже не может из-за реальности ЭЭЗ [10–16].

При каждой такой итерации мы получаем свой набор $x_i(t)$ и далее мы можем статистически обрабатывать уже выборки их 100-а значений весов признаков. В итоге, мы полученные средние значения этих весов $\langle w_i \rangle$ можем ранжировать, т.е. выбрать x_i^* , которые имеют наибольшее значение $\langle w_i \rangle$ (из всех 5-ти).

Именно такая процедура позволяет нам не только избавляться от неопределенности 1-го типа (когда выборки статистически совпадают), но и найти главные диагностические признаки, т.е. параметры порядка (ПП). Обычно эти ПП имеют $\langle w_i \rangle \geq 0,05$ [10–16].

Именно такие действия мы и выполнили с помощью ИНС. Оказалось, что все пары сравнения (1–2, 1–3, 1–4, 2–3, 2–4, 3–4) ИНС разделяет. Более того, для каждой такой пары сравнения ИНС находит главные диагностические признаки (т.е. ПП). Для каждой пары мы имеем свои ПП.

Чаще всего это SIM и SDNN (для многих пар сравнения). Подчеркнем, что в статистике только SSS показал нам некоторые статистические различия, что было пред-

ставлено в табл.1. Однако ИНС нам дает другие результаты и сразу для всех 5-ти параметров работы сердца (параметры CCC). При этом SSS не является ПП.

Выводы

Изучение эффектов влияния ПЭМП на состояние CCC приводит нас к неопределенностям 1-го типа. Это означает, что разные возрастные группы и группы сравнения без ПЭМП и с действием ПЭМП могут в статистике почти не различаться. Это особенно заметно по параметрам SDNN и IBN, где критерии Манна-Уитни показывают $p_{ij}=1$ для всех 6-ти пар сравнения.

Только один параметр CCC (в виде SSS) показал статистическое различие для 50 % сравниваемых пар. Больше

всего различается группа 4 от всех остальных 3-х групп (две пары различаются из 6-ти разных пар). Однако, ИНС дает различие для всех 6-ти пар сравнения по всем 5-ти признакам.

В итоге, мы устраняем неопределенность 1-го типа (статистика не работает) и получаем различия между всеми шестью (разными) парами сравнения. Оказалось, что при этом мы можем получить и главные диагностические признаки — параметры порядка. Такие новые режимы работы ИНС (многократные реверберации и хаос начальных весов w_{ij} признаков $x_i(t)$) обеспечивает нахождение ПП. Это и есть решение задачи системного синтеза, что невозможно решить в рамках статистики.

ЛИТЕРАТУРА

- Galkin V.A., Gavrilenko T.V., Gazya G.V., Filatov M.A. Models of uncertainty in the framework of compartment-cluster theory for research of instability biosystems // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 981 (2022) 032004 doi:10.1088/1755-1315/981/3/032004.
- Eskov V.V., Manina E.A., Filatov M.A., Gavrilenko T.V. Living systems' chaos: The problem of reduction in physics and biology // AIP Conference Proceedings 2647, 070031 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0106816>.
- Eskov V.V. Modeling of biosystems from the stand point of «complexity» by W. Weaver and «fuzziness» by L.A. Zadeh // Journal of Physics Conference Series. 2021. Vol. 1889(5). P. 052020 DOI:10.1088/1742-6596/1889/5/052020.
- Grigorenko V.V., Nazina N.B., Filatov M.A., Chempalova L.S., Tretyakov S.A. New information technologies in the estimation of the third type systems // Journal of Physics: Conference Series. 2021. Vol. 1889. P. 032003 DOI:10.1088/1742-6596/1889/3/032003.
- Khadartsev A.A., Eskov V.V., Pyatin V.F., Filatov M.A. The Use of Tremorography for the assessment of motor functions // Biomedical engineering. 2021. Vol. 54(6). Pp. 388–392. DOI:10.1007/s10527-021-10046-6.
- Kozlova V.V., Galkin V.A., Filatov M.A. Diagnostics of brain neural network states from the perspective of chaos // Journal of Physics Conference Series. 2021. Vol. 1889(5). P. 052016 DOI:10.1088/1742-6596/1889/5/052016.
- Галкин В.А., Кухарева А., Мельникова Е.Г., Филатов М.А. Реально «великие» проблемы физики живых систем // Сложность. Разум. Постнеклассика. — 2023. — № 2. — С. 80–88. — DOI 10.12737/2306-174X-2023-2-68-77.
- Гавриленко Т.В., Мельникова Е.Г., Кухарева А., Коннов П.Е. Физико-математическая аргументация для отрицания базовой гипотезы М.Б. Менского // Сложность. Разум. Постнеклассика. — 2023. — № 2. — С. 68–79. — DOI 10.12737/2306-174X-2023-2-54-67.
- Филатов, М.А., Розенберг Г.С., Акопов Г.В. Типы регуляции (управления) в системах природы и общества // Сложность. Разум. Постнеклассика. — 2023. — № 2. — С. 47–55. — DOI 10.12737/2306-174X-2023-2-38-44.
- Коннов П.Е., Топазова О.В., Трофимов В.Н., Еськов В.В., Самойленко И.С. Искусственные нейронные сети в оценке клинических параметров актинического дерматита // Сложность. Разум. Постнеклассика. — 2022 — №4. — С.34–48. DOI: 10.12737/2306-174X-2023-11-4-25-31.
- Коннов П.Е., Еськов В.В., Филатов М.А., Гавриленко Т.В. Применение искусственных нейросетей в дерматологии // Сложность. Разум. Постнеклассика. — 2022 — №2. — С.12–20. DOI: 10.12737/2306-174X-2022-17-24.
- Коннов П.Е., Топазова О.В., Трофимов В.Н., Еськов В.В., Самойленко И.С. Нейросети в идентификации главных клинических признаков при актиническом дерматите // Вестник новых медицинских технологий. — 2023. — Т. 30. — № 2. — С.115–118. DOI: 10.24412/1609-2163-2023-2-115-118.
- Хадарцева К.А., Филатова О.Е. Новое понимание стационарных режимов биологических систем. // Успехи кибернетики. — 2022. — 3(3). — Стр. 92–101. DOI: 10.51790/2712-9942-2022-3-3-10.
- Кухарева А.Ю., Еськов В.В., Газя Н.Ф. Гипотеза Эверетта и квантовая теория сознания // Успехи кибернетики. — 2023. — 4(1). — Стр. 65–71. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-1-09.
- Филатова О.Е., Филатов М.А., Воронюк Т.В., Музиева М.И. Квантовомеханический подход в электрофизиологии // Успехи кибернетики. — 2023. — 4(2). — Стр. 68–77. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-2-10.
- Кухарева А.Ю., Мельникова Е.Г., Байтуев И.А., Филатов М.А. Существует ли связь между «many-worlds interpretation» и «many-minds interpretation» в биокибернетике? // Успехи кибернетики. — 2023. — Т. 4, №3. — С. 101–108. DOI: 10.51790/2712-9942-2023-4-3-11.

© Газя Геннадий Владимирович (86wsr@rambler.ru); Кухарева Алеся Юрьевна (alja.87@mail.ru); Газя Наталья Федоровна (nata_stratan@mail.ru); Кожедеров Александр Игоревич (A_Kojederov@ugrasu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИЗУЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ МИУС

STUDY OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE MIUS RIVER

P. Dolzhanov
N. Alekseeva
O. Mironenko

Summary. The authors present the results of studying the ecological state of the Mius River, which is determined to be satisfactory with a mesotrophic status. A weak runoff flow, a moderate degree of overgrowth has been established on the water body, and the presence of common reed, dark green hornwort and Canadian elodea among the aquatic vegetation indicates the initial stage of waterlogging. Hydrochemical indicators (lack of oxygen, excess of permissible standards for nitrates, nitrites and hydrogen sulfide) indicate a low quality of the aquatic environment. Hydrobiological studies have confirmed the species diversity of hydrobionts, and the predominance of indicator species-saprobions (β - and α mesosaprobies) in phytoplankton, zooplankton and zoobenthos, allows us to draw conclusions about the significant influence of anthropogenic factors on the aquatic ecosystem of the Mius River.

Keywords: Mius, anthropogenic influence, quality of the aquatic environment, floral composition, hydrochemistry, hydrobiology.

Должанов Павел Борисович

К. вет. н., ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия»
 alekseevadonagra@yandex.ru

Алексеева Наталья Викторовна

К. вет. н., доцент,
 ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия»

Мироненко Оксана Александровна

Ст. преподаватель,
 ФГБОУ ВО «Донбасская аграрная академия»

Аннотация. Авторами представлены результаты изучения экологического состояния реки Миус, которое определено удовлетворительным с мезотрофным статусом. На водном объекте установлено слабое стоковое течение, умеренная степень зарастания, а присутствие среди водной растительности тростника обыкновенного, роголистника темно-зеленого и элодеи канадской, указывает на начальную стадию заболачивания. Гидрохимические показатели (нехватка кислорода, превышение допустимых норм по нитратам, нитритам и сероводороду) свидетельствуют о низком качестве водной среды. Гидробиологические исследования подтвердили видовое разнообразие гидробионтов, а преобладание индикаторных видов-сапробионов (β - и α -мезосапробов) в составе фитопланктона, зоопланктона и зообентоса, позволяет сделать выводы о значительном влиянии антропогенных факторов на водную экосистему реки Миус.

Ключевые слова: Миус, антропогенное влияние, качество водной среды, флористический состав, гидрохимия, гидробиология.

Введение

Донецкая Народная Республика — регион с ограниченными водными ресурсами. Все региональные реки небольшие по протяженности, но играют важную роль в жизни местного населения, обеспечивая водоснабжение городов и сел, а также поддерживая работу тяжелой промышленности. Всего на территории Республики протекают четыре средние реки — Кальмиус, Миус, Крынка, Лугань и 851 малых рек с ручьями общей протяженностью 5433,5 км, из них 64 реки длиной более десяти километров.

Антропогенное воздействие затронуло русла всех рек в регионе. Зарегулированность поверхностного стока рек водохранилищами и прудами, активные боевые действия, интенсивный забор воды для промышленных, сельскохозяйственных и бытовых нужд, а также сброс недостаточно очищенной воды в гидрографическую сеть могут привести к необратимым изменениям как в гидрологическом режиме, так и в гидрохимическом качестве воды. Под воздействием хозяйственной деятельности человека гидрологический режим рек претерпевает постоянные изменения, поэтому изучение экологического состояния рек является актуальным на-

правлением, имеющим теоретическую и практическую значимость [3, 4, 7, 9].

Миус — самая длинная река южного склона Донецкого кряжа с устьем, формирующим акваторию Азовского моря. Из общей длины реки 258 км и общей площади водосбора 6680 км² на территорию ДНР приходится 65 км (25,2 %) и 3259 км² площади водосбора (48,8 %). Русло реки Миус извилистое, шириной от 15 до 25 метров, а в низовьях до 45 метров, в наиболее изогнутых участках образовались речные плесы глубиной до 6 метров, а на перекатах глубина снижается до 0,5 метра. Водная артерия реки Миус имеет четыре основных притока: правые — реки Глухая и Крынка, а также левые — реки Крепенькая и Нагольная. Кроме того, в бассейне реки Миус создано восемь водохранилищ и множество прудов, главная задача которых состоит в обеспечении водоснабжения гидроэнергетических и промышленных предприятий, а также удовлетворении потребностей в мелиорации.

Цель работы: изучение экологического состояния реки Миус.

Материалы и методы

Изучение экологического состояния реки Миус проводили по показателям гидрологических, гидрохимиче-

ских и гидробиологических исследований. Исследование реки Миус проводилось на четырех пунктах отбора, гидрологических станциях (ГС), административно относящихся к городам Снежное (ГС № 2, 3) и Шахтерск (ГС № 1, 4) Донецкой Народной Республики. Отбор, обработка и исследования проб проводились в соответствии с нормативными и методическими документами [2, 6]. На каждой гидрологической станции произведено по одному отбору проб для получения следующих показателей: гидрологических (температура воды, температура воздуха, прозрачность воды), гидрохимических (водородный показатель, растворенный кислород, аммоний-ион, нитрит-ион, нитрат-ион, свободная углекислота, сероводород, ортофосфаты, сухой остаток) и гидробиологических (фитопланктон, зоопланктон, зообентос) [1, 5, 8, 10].

Результаты исследования

Бассейн реки Миус по почвенному и растительному покрову относится к южной черноземной степной зоне, где преобладающими почвами являются обыкновенные черноземы. Дно бассейна реки Миус сложено различными грунтами — глинистыми, суглинистыми, супесчаными, местами дно песчаное илистое: ГС № 1 — преобладают глинистые грунты, ГС № 2 — суглинистые, ГС № 3 — глинистые и суглинистые, ГС № 4 — глинистые, суглинистые, супесчаные. Заиленье дна бассейна реки Миус выражено незначительно, хотя на ГС № 2 и № 4 наблюдаются заиленные пески. Мощность наноса ила на ГС № 1 — до 0,4 м, ГС № 2 — 0,1–0,3, ГС № 3–4 — 0,3–0,6 м (в наиболее глубокой части). Исследование бассейна реки Миус на четырех гидрологических станциях по физико-географическим особенностям (таблица 1) показало, что наиболее многоводной, была ГС № 2 правый при-

ток реки Миус — река Ольховчик (с. Степановка) и ГС № 4 правый приток реки Миус — балка Герасимова (с. Латышево), а наименьшие показатели зарегистрированы на ГС № 1 правый приток реки Миус — балка Попасная (с. Рассыпное) и ГС № 3 правый приток реки Миус — балка Герасимова (с. Первомайское).

Поскольку, флористический состав растительности является одним из важных показателей техногенного воздействия на экосистему, нами было изучено степень зарастания различными видами растений, результаты которого представлены в таблице 2.

По степени зарастания река Миус, согласно классификации Папченкова, относятся к умеренно заросшим (4 класс), т.к. показатели степени зарастания находятся в диапазоне 11–25 %.

Флористическое разнообразие бассейна реки Миус представлено восьмью видами растительности: рдест плавающий (*Potamogeton natans*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*), роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum*), рогульник плавающий (*Trapa natans*), тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), уруть мутовчатая (*Myriophyllum verticillatum*), харовые водоросли (*Charophyceae*), элодея канадская (*Eloдея canadensis*). Наиболее распространенной растительностью в бассейне реки Миус являются тростник обыкновенный, произрастающий на всех четырех пунктах отбора, доленое размещение другой растительности составляет 25–50 %.

Антропогенное влияние на экосистему реки Миус проявляется через распространение таких водных растений, как элодея канадская и роголистник темно-зе-

Таблица 1.

Физико-географическая характеристика бассейна реки Миус в пунктах отбора

Гидрологическая станция	Наименование, территориальная принадлежность	Параметры (размеры)					
		Длина, км	Максимальная ширина, км	Площадь водного зеркала, га	Объем, тыс. м ³	Максимальная глубина, м	Средняя глубина, м
1	Администрация г. Шахтерска, Рассыпнянская сельская администрация, село Рассыпное (балка Попасная)	0,518	0,137	4,39	171,21	7,4	3,9
2	Администрация г. Снежное, село Степановка (река Ольховчик)	0,850	0,430	12,79	409,80	5,8	3,2
3	Администрация г. Снежное, Первомайская поселковая администрация, село Первомайское (балка Герасимова)	0,506	0,220	4,2	146,77	9,4	3,49
4	Администрация г. Шахтерска, Дмитровская сельская администрация, село Латышево (балка Герасимова)	0,850	0,260	14,8	358,98	4,3	2,4

Таблица 2.
Флористический состав растительности
бассейна реки Миус

Гидрологическая станция	Виды растительности	Степень зарастания, %
1	Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>)	20
	Харовые водоросли (<i>Charophyceae</i>)	
2	Рогольник плавающий (<i>Trapa natans</i>)	20
	Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>)	
	Харовые водоросли (<i>Charophyceae</i>)	
3	Рдест плавающий (<i>Potamogeton natans</i>)	20
	Рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i>)	
	Роголистник темно-зеленый (<i>Ceratophyllum demersum</i>)	
	Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>)	
	Уруть мутовчатая (<i>Myriophyllum verticillatum</i>)	
	Элодея канадская (<i>Elodea canadensis</i>)	
4	Рдест плавающий (<i>Potamogeton natans</i>)	15
	Рогоз широколистный (<i>Typha latifolia</i>)	
	Роголистник темно-зеленый (<i>Ceratophyllum demersum</i>)	
	Тростник обыкновенный (<i>Phragmites australis</i>)	
	Уруть мутовчатая (<i>Myriophyllum verticillatum</i>)	
	Элодея канадская (<i>Elodea canadensis</i>)	

лений. Кроме того, наличие в флористическом списке таких информативных видов, как тростник обыкновенный и роголистник, указывает на то, что бассейн реки Миус находится на начальном этапе заболачивания т.к. для этих видов характерно обитание на водных объектах с низким уровнем эвтрофикации. Также наличие растений-индикаторов — рогоза широколистного и роголистника погруженного — может свидетельствовать об органическом загрязнении или загрязнении тяжелыми металлами.

Для ведения эффективной аквакультуры рекомендовано удаление высшей водной растительности, поскольку чрезмерное развитие водных растений ухудшает гидрохимический, в частности кислородный режим, повышает кислотность воды, затеняет водоём, препятствуя проникновению света и тепла, сокращает полезную площадь нагула рыбы. В целом эти негативные явления приводят к снижению естественной рыбопродуктивности.

При изучении гидрологического режима реки Миус установлено, что она находится в зоне с умеренно-континентальным климатом с жарким, сухим летом и сравнительно мягкой зимой. Зимы малоснежные, с пасмурной погодой и частыми туманами. Средняя температура в летний период — +24 °С — +28 °С, а зимний период — -7 °С. Среднегодовая температура воздуха — около +8 °С. На момент отбора проб (июль-сентябрь) температура воды составляла 21–29 °С.

Осадки выпадают в виде кратковременных дождей, чаще всего с ветрами. Ледостав наступает во второй декаде декабря, заканчивается во второй декаде марта. Весеннее половодье проходит в период с февраля по март-апрель. Средняя продолжительность безморозного периода составляет 170–180 дней.

Характер питания реки Миус смешанный: весной — от таяния аккумулятивных за зиму атмосферных осадков, летом и зимой — преимущественно грунтовые воды, а осенью — атмосферные осадки (дождевые воды). Вид регулирования стока реки Миус — сезонное: весной — 65 %, летом-осенью — 25 %, зимой — 10 %. Подъем уровня воды весной начинается в феврале-марте, чаще всего при ледоставе. Уровень воды в маловодные годы с жарким и сухим летом значительно снижается. Устойчивые низкие уровни ежегодно нарушаются повторяющимися несколько раз в течение летне-осеннего периода дождевыми паводками чаще всего в августе-сентябре.

Данные гидрологических показателей водотока реки Миус в разных пунктах отбора представлены в таблице 3 (согласно паспорту, утвержденному Главным управлением водных ресурсов Донецкой Народной Республики).

Интенсивность питания реки Миус с учетом годового объема воды, стекающей с определенной площади бассейна на разных гидрологических станциях была практически на одном уровне и составила — 1,5–2 литра в секунду с квадратного километра, с наименьшим показателем на ГС № 4. Для горных рек этот показатель может достигать 15 л/с с км², а для равнинных рек в засушливых степных и пустынных зонах — 0–1 л/с с км². При изучении водного режима реки Миус установлено, что на ГС № 1–3 средний многолетний объем стока характеризуется преобладанием (52,4 %) периода малой водности и длительного стояния низкого уровня воды, а на ГС № 4 — характеризуется преобладанием (63,4 %) периода интенсивного увеличения уровня воды вследствие дождей или обильного снеготаяния во время оттепелей. Наибольшие значения среднемноголетнего, среднемесячного максимального и среднемесячного минимального расхода воды бассейна реки Миус установлены на ГС № 4, как и показателя размера водосборной площади. По показателю уровня зарегулированности стока видно, что расход воды в бассейне реки Миус в течении года

Таблица 3.
Гидрологические показатели водотока реки Миус

Наименование показателя	Гидрологическая станция			
	I	II	III	IV
— модуль годового стока, л/с с 1 км ²	2,0	2,0	2,0	1,5
— средний многолетний объем стока: за год, тыс. м ³	649,7	1703,2	1375,1	2502,7
за период паводка, тыс. м ³	309,0	810,0	654,0	1587,0
за период межени, тыс. м ³	340,7	893,2	721,4	915,7
— расходы воды: среднемноголетний (50 % обеспеченности), м ³ /с	0,019	0,049	0,039	0,070
среднемесячный максимальный (1 % обеспеченности), м ³ /с	0,19	0,51	0,420	2,17
среднемесячный минимальный (95 % обеспеченности), м ³ /с	0,001	0,003	0,002	0,004
— уровень зарегулированности стока, км ²	1,14	0,80	0,42	0,80
— водосборная площадь, км ²	10,3	27,0	21,8	52,9

распределяется неравномерно и отличается на разных гидрологических станциях с наибольшими колебаниями этого показателя на ГС № 1 и № 3.

При изучении гидрохимического режима реки Миус отмечено изменение химического состава воды в зависимости от преобладания поверхностно-склоновых, почвенно-поверхностных, почвенно-грунтовых и подземных вод. Результаты гидрохимического анализа воды в четырех пунктах отбора (станциях) представлены в таблице 4.

Вода в реке Миус по показателю прозрачности характеризуется как среднетумная — на ГС № 1-2 и прозрачная — на ГС № 3-4. По водородному показателю pH соответствует уровню утвержденной допустимой концентрации (УДК 6,5-9,5): водородный показатель воды в ГС № 1 составил 6,5 ед. pH (слабокислая реакция), ГС № 2 — 8,73 ед. pH (щелочная реакция), ГС № 3-4 — 8,11 и 7,86 ед. pH соответственно (слабощелочная реакция).

Превышение показателя концентрации нитрат-ионов в пробах воды на всех четырех гидрологических станциях выше УДК 3 мг/дм³ и нитрит-ионов в пробе воды на ГС № 3, возможно связано с процессом минерализации органических веществ, что может наблюдаться в сезон развития водорослей и бактерий, определяющих круговорот азота или из-за возможного вымыва удобрений с полей.

Таблица 4.

Гидрохимические показатели реки Миус

№ п/п	Наименование показателя	Гидрологическая станция				УДК
		I	II	III	IV	
1	Прозрачность, см	>20	20	>30	>30	50±20 % от ср.гл.*
2	Водородный показатель pH, ед. pH	6,5	8,73	8,11	7,86	6,5-9,5
3	Аммоний-ион, мг/дм ³	0,5	0,27	2,04	1,62	до 2,5 N _{ам.}
4	Нитрит-ионы, мг/дм ³	0,23	0,25	0,43	0,26	0,3
5	Нитрат-ионы, мг/дм ³	5,1	6,74	6,14	5,30	3
6	Растворенный кислород, мг O ₂ /дм ³	3,8	10,27	14,1	13,6	не ниже 4
7	Свободная углекислота, мг CO ₂ /дм ³	< 0,1**	< 0,1**	27,1	25,1	до 30
8	Сероводород (сульфиды), мг/дм ³	отсутствие	<0,05**	<0,05**	<0,05**	отсутствие
9	Ортофосфаты, мг/дм ³	0,53	0,97	0,37	0,83	2,0 мг P/дм ³ ***
10	Сухой остаток, мг/дм ³	1000	660	596	488	2000-4000****

Примечания: УДК — утвержденная допустимая концентрация, * — средняя глубина; ** — определение более низких концентраций в воде ограничено диапазоном измерений методики проведения исследований; *** — норматив содержания фосфатов (допустимые значения) указан в таблице 11 Приказа Минрыбхоза СССР № 241 от 24.04.1985 и составляет 2,0 мгP/дм³(л); в пересчете на элементарный фосфор содержание ортофосфатов в пробе воды составляет 0,30 мгP/дм³ (л), что свидетельствует о допустимом уровне фосфатов в воде; **** — природная минерализация водотоков в меженный период достигает 2000–4000 мг/дм³

Важное значение для существования водных биологических ресурсов имеет кислородный режим, который в пробе воды отобранной ГС № 1 составил — 3,8 мг/дм³ — ниже УДК (4 мг О₂/дм³). С учетом того, что на аэрационный режим реки влияют такие факторы как ветер, развитие водорослей, процессы взаимодействия воды с высшей водной растительностью, гидрологические условия, химический состав воды, климатические условия, рекомендовано для предотвращения заморных явлений (ранее не наблюдались) регулярно осуществлять контроль за уровнем растворенного кислорода, поскольку низкое содержание кислорода может быть обусловлено бактериальным разложением органических веществ.

Присутствие незначительного содержания сероводорода (сульфидов) в воде на ГС № 2–4 (<0,05 мг/дм³) может негативно сказаться на ведении рыбохозяйственной деятельности, поэтому рекомендовано спускать нижние слои воды, увеличить водообмен, проводить известкование кормовых мест.

Для определения естественной продуктивности реки Миус был проведен гидробиологический анализ с определением видов фитопланктона (части свободноплавающих растительных микроорганизмов), зоопланктона (части планктона, представленной животными микроорганизмами), макрозообентоса (придонных беспозвоночных организмов с размером тела более 2 мм) — таблица 5–7.

Таблица 5.

Распределение видового состава фитопланктона на гидрологических станциях бассейна реки Миус

№	Вид растительных микроорганизмов	Гидрологическая станция			
		I	II	III	IV
1 группа Эвгленовые (Euglenophyta):					
1	<i>Cyclidiopsis acus</i>		+	+	+
2	<i>Euglena geniculata</i>	+			+
3	<i>Eutreptia lanovii</i>			+	+
4	<i>Lepocinclis globula</i>			+	+
5	<i>Phacus monlatus</i>			+	+
6	<i>Phacus pyrum</i>		+		
7	<i>Trachelomonos volvocina</i>			+	+
Количество видов		1	2	5	6
2 группа Синезеленые (Cyanophyta):					
1	<i>Anabaena circinalis</i>	+			
2	<i>Anabaena spiroides</i>			+	

№	Вид растительных микроорганизмов	Гидрологическая станция			
		I	II	III	IV
3	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	+	+	+	+
4	<i>Gloeocapsa turgida</i>	+			
5	<i>Microcystis aeruginosa</i>	+			
6	<i>Spirulina platensis</i>			+	
Количество видов		4	1	3	1
3 группа Зеленые (Chlorophyta):					
1	<i>Chlamydomonas pertusa</i>			+	+
2	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>			+	+
3	<i>Chlorella vulgaris</i>		+	+	+
4	<i>Chlorogonium elongate</i>			+	+
5	<i>Closterium intermedium</i>			+	+
6	<i>Spirogyra porticalis</i>		+	+	+
7	<i>Ulothrix tenuissima</i>	+			
Количество видов		1	2	6	6
4 группа Диатомовые (Bacillariophyta):					
1	<i>Bacillaria paradoxa</i>		+	+	+
2	<i>Cylindrotheca gracilis</i>			+	+
3	<i>Cymbella cymbiformis</i>			+	
4	<i>Fragilaria capucina</i>			+	+
5	<i>Gyrosigma acuminatum</i>			+	+
6	<i>Nizshia microcephata</i>	+		+	+
7	<i>Pinnularia viridis</i>			+	+
8	<i>Pleurosigma salinarum</i>			+	+
9	<i>Stephonodiscus hantzschii</i>	+		+	+
10	<i>Synedra acus</i>		+		
Количество видов		2	2	9	8
Общая биомасса, г/м³		15,40	46,84	5,985	20,57

При определении видов фитопланктона в пробах воды реки Миус установлено, что фитопланктон представлен четырьмя группами водорослей: эвгленовые (*Euglenophyta*), синезеленые (*Cyanophyta*), зеленые (*Chlorophyta*), диатомовые (*Bacillariophyta*).

В составе фитопланктона реки Миус зарегистрировано 30 таксонов водорослей рангом ниже рода. Таксономически наиболее разнообразны диатомовые водорос-

Таблица 6.
Видовой состав зоопланктона бассейна реки Миус

№	Виды животных микроорганизмов	Гидрологическая станция			
		I	II	III	IV
1 группа Класс Коловратки (Rotifera):					
1	<i>Brachionus plicatilis</i>		+		
2	<i>Brachionis solyciflorus amphiceros</i>			+	+
3	<i>Synchacta pectinata</i>			+	+
Количество видов		–	1	2	2
2 группа Класс Ракообразные отряда Веслоногие (Copepoda):					
4	<i>Eurytemora sp.</i>	+		+	+
5	<i>Eucyclops serrulatus</i>	+	+	+	+
Количество видов		2	1	2	2
3 группа Класс Ракообразные отряда Ветвистоусые (Cladocera)					
6	<i>Oxyurella tenuicandis</i>			+	+
Количество видов		–	–	1	1
Общая биомасса, г/м³		0,84	0,66	3,835	2,03

ли, составляющие около 33,4 % (10 видов) общего состава фитопланктона, менее представительны синезеленые — 20,0 % (6 видов). На долю эвгленовых и зеленых приходится по 23,3 % (7 видов) состава водорослей. Показатели количественного развития фитопланктона реки Миус по гидрологическим станциям существенно отличается, наибольшее количество биомассы фитопланктона установлено на ГС № 2 — 46,84 г/м³, а наименьшее — на ГС № 3 — 5,985 г/м³. Из 30 зарегистрированных таксонов водорослей рангом ниже рода 21 являются видами-сапробионтами в т.ч. 62 % — β -мезосапробы.

Зоопланктон в пробах воды реки Миус представлен тремя группами микроорганизмов — коловратки (*Rotifera*), ветвистоусые (*Cladocera*), веслоногие (*Copepoda*): ГС № 1 — двумя видами веслоногих раков; ГС № 2 — двумя группами животных микроорганизмов — одним видом коловраток и одним видом веслоногих раков; на ГС № 3–4 — тремя группами животных микроорганизмов — двумя видами коловраток, двумя видами веслоногих и одним видом ветвистоусых раков.

Показатели количественного развития зоопланктона реки Миус существенно отличался на гидрологических станциях, наибольшее количество биомассы животных микроорганизмов установлено на ГС № 3 — 3,835 г/м³, а наименьшее — на ГС № 2 — 0,66 г/м³.

Необходимо отметить, что 50 % видового состава зоопланктона бассейна реки Миус относится к группе

животных микроорганизмов-индикаторов показателей сапробности: представители класса Коловраток — *Brachionus plicatilis* и *Brachionis solyciflorus amphiceros* — β — мезосапробы, а представитель веслоногих раков *Eucyclops serrulatus* — α - β -сапробности (переходной формы).

Зообентос в пробах воды реки Миус представлен различными видами членистоногих (*Arthropoda*), моллюсков (*Mollusca*) и кольчатых червей (*Annelida*). На ГС № 1 из придонных беспозвоночных организмов были обнаружены насекомые отряда Двукрылые (*Diptera*) и отряда Стрекоз (*Odonata*), высшие раки отряда Равноногие (*Isopoda*), брюхоногие моллюски отряда Архитениоглоссы (*Architaenioglossa*), а также поясковые отряда Челюстные пиявки (*Arhynchobdellida*). На ГС № 2 из придонных беспозвоночных организмов были обнаружены насекомые отряда Двукрылые (*Diptera*), высшие раки отряда Бокоплавы (*Amphipoda*), брюхоногие моллюски отряда Архитениоглоссы (*Architaenioglossa*) и двухстворчатые моллюски отряда Перловицевые (*Unionida*), а также поясковые отряда Челюстные пиявки (*Arhynchobdellida*). На ГС № 3–4 установлено наибольшее разнообразие придонных беспозвоночных организмов, из общего числа обнаруженных в реке Миус, за исключением раков-бокоплавов вида *Gammarus pulex*. На всех четырех пунктах отбора проб воды реки Миус были обнаружены двукрылые членистоногие, брюхоногие моллюски и челюстные пиявки. Количественный анализ проб зообентоса показал, что преобладают личинки двукрылых насекомых (*Diptera*).

При изучении видового разнообразия придонных беспозвоночных организмов реки Миус установлено, что на ГС № 3–4 оно более выражено т.к. были обнаружены представители одиннадцати семейств: личинки четырех семейств отряда Двукрылых (*Chironomidae*, *Ptychopteridae*, *Chaoboridae*, *Polycentropodidae*), личинки трех семейств отряда Стрекоз (*Calopterygidae*, *Aeshnidae*, *Coenagrionidae*), равноногих раков семейства *Asellidae* (вид *Asellus aquaticus*), брюхоногих моллюсков семейства *Lymnaeidae* (вид *Lymnaea truncatula*), двухстворчатых моллюсков семейства *Unionidae* (вид *Anodonta cygnea*) и пиявок семейства *Erpobdellidae* (вид *Erpobdella octoculata*). Значительно меньшее разнообразия придонных беспозвоночных организмов установлено на ГС № 1 и № 2 — обнаружено представителей шести семейств и пяти соответственно. На ГС № 1 обнаружено следующих представителей: личинки одного семейства отряда Двукрылых (*Chironomidae*), личинки одного семейства отряда Стрекоз (*Lestidae*), равноногих раков семейства *Asellidae* (вид *Asellus aquaticus*), брюхоногих моллюсков семейства *Viviparidae* (вид *Viviparus contectus*) и семейства *Lymnaeidae* (вид *Lymnaea ovata*), а также пиявок семейства *Erpobdellidae* (вид *Erpobdella octoculata*). На ГС № 2 обнаружено следующих представителей: личинки

Видовой состав зообентоса бассейна реки Миус

№	Наименование придонных беспозвоночных организмов	Гидрологическая станция			
		I	II	III	IV
1	Тип Членистоногие (<i>Arthropoda</i>) Класс Насекомые (<i>Insecta</i>) Отряд Двукрылые (<i>Diptera</i>) — семейство комары-звонцы (<i>Chironomidae</i>) роды <i>Tanytus</i> , <i>Trichotanytus</i> , <i>Chironomus</i> , <i>Procladius</i> — семейство складчатокрылки (<i>Ptychopteridae</i>) род <i>Ptychoptera</i> — семейство стеклянницы (<i>Chaoboridae</i>) род <i>Chaoborus</i> — семейство ручейников (<i>Polycentropodidae</i>) род <i>Cyrnus</i>	+	+	+	+
2	Тип Членистоногие (<i>Arthropoda</i>) Класс Насекомые (<i>Insecta</i>) Отряд Стрекозы (<i>Odonata</i>) — семейство равнокрылых (<i>Lestidae</i>) род <i>Lestes</i> — семейство равнокрылых (<i>Calopterygidae</i>) род <i>Calopteryx</i> — семейство разнокрылых (<i>Aeshnidae</i>) род <i>Aeshna</i> — семейство стрелок (<i>Coenagrionidae</i>) род <i>Coenagrion</i>	+	-	+	+
3	Тип Членистоногие (<i>Arthropoda</i>) Класс Высшие раки (<i>Malacostraca</i>) Отряд Равноногие (<i>Isopoda</i>) — семейство <i>Asellidae</i> , род <i>Asellus</i> — вид Обыкновенный водяной ослик (<i>Asellus aquaticus</i>)	+	-	+	+
4	Тип Членистоногие (<i>Arthropoda</i>) Класс Высшие раки (<i>Malacostraca</i>) Отряд Бокоплавы (<i>Amphipoda</i>) — семейство амфиподовые ракообразные (<i>Gammarida</i>), род <i>Gammarus</i> — вид Гаммарус-блоха (<i>Gammarus pulex</i>)	-	+	-	-
5	Тип Моллюски (<i>Mollusca</i>) Класс Брюхоногие моллюски (<i>Gastropoda</i>) Отряд Архитениоглоссы (<i>Architaenioglossa</i>) — семейство (<i>Viviparidae</i>), род <i>Viviparus</i> — вид Болотная лужанка (<i>Viviparus contectus</i>) — семейство Катушки (<i>Planorbidae</i>) род <i>Anisus</i> — семейство Прудовики (<i>Lymnaeidae</i>), род <i>Lymnaea</i> — вид Прудовик малый (<i>Lymnaea truncatula</i>) — вид Прудовик овальный (<i>Lymnaea ovata</i>) — вид Прудовик вытянутый (<i>Lymnaea peregra</i>)	+	+	+	+
6	Тип Моллюски (<i>Mollusca</i>) Класс Двухстворчатые моллюски (<i>Bivalvia</i>) Отряд Перловицевые (<i>Unionida</i>) — семейство Перловица (<i>Unionidae</i>) род <i>Anodonta</i> — вид Беззубка обыкновенная (<i>Anodonta cygnea</i>)	-	-	+	+
7	Тип Кольчатые черви (<i>Annelida</i>) Класс Поясковые (<i>Clitellata</i>) Отряд Челюстные пиявки (<i>Arhynchobdellida</i>) — семейство Глоточные пиявки (<i>Erpobdellidae</i>), род <i>Erpobdella</i> — вид Пресноводная пиявка (<i>Erpobdella octoculata</i>)	+	+	+	+
Общая биомасса, г/м²		1,36	1,30	4,27	1,625

одного семейства отряда Двукрылых (*Chironomidae*), раков-бокоплавов семейства *Gammarida* (вид *Gammarus pulex*), брюхоногих моллюсков семейства *Lymnaeidae* (вид *Lymnaea peregra*) и семейства (*Planorbidae*), а также пиявок семейства *Erpobdellidae* (вид *Erpobdella octoculata*).

Показатели количественного развития макрозообентоса бассейна реки Миус существенно отличался на гидрологических станциях, наибольшее количество биомассы придонных беспозвоночных организмов с размером тела более 2 мм, установлено на ГС № 3 — 4,27 г/м², а на остальных трех — в пределах 1,3–1,6 г/м².

Необходимо отметить, что 53 % представителей макрозообентоса бассейна реки Миус относится к группе организмов-индикаторов показателей сапробности — сапробионтам: *Coenagrion sp.*, *Aeshna sp.*, *Anodonta cygnea* — β -мезосапробы; *Asellus aquaticus*, *Erpobdella octoculata* — α -мезосапробы; *Chironomus plumosus*, *Chironomus thummi* — p -полисапробы; *Gammarus pulex*, *Lestes sp.*, *Chaoborus sp.* — переходные формы мезосапробионты и полисапробионты.

Видовой состав водных биологических ресурсов реки Миус представлен в таблице 8.

Таблица 8.
Видовой состав водных биологических ресурсов реки Миус

Наименование	Гидрологическая станция			
	1	2	3	4
Карась серебряный (<i>Carassius gibelio</i>)	+	+	+	-
Карп обыкновенный (<i>Cyprinus carpio</i>)	+	+	+	+
Красноперка (<i>Scardinius erythrophthalmus</i>)	+	-	-	-
Лещ обыкновенный (<i>Abramis brama</i>)	+	-	-	-
Окунь обыкновенный (<i>Perca fluviatilis</i>)	+	+	+	+
Окунь солнечный (<i>Lepomis gibbosus</i>)	-	-	+	+
Плотва обыкновенная (<i>Rutilus rutilus</i>)	+	-	-	-
Рак речной узкопалый (<i>Astacus leptodactylus</i>)	+	-	-	+
Судак обыкновенный (<i>Sander lucioperca</i>)	-	+	-	-
Толстолобик (<i>Hypophthalmichthys</i>)	+	-	+	+
Уклея (<i>Alburnus alburnus</i>)	-	+	-	-

Водные биологические ресурсы реки Миус представлены одиннадцатью видами. Наиболее многочисленными видами водных биоресурсов реки Миус являются карп обыкновенный (*Cyprinus carpio*), окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis*), которые присутство-

вали на всех четырех гидрологических станциях, а также карась серебряный (*Carassius gibelio*) и толстолобик (*Hypophthalmichthys*).

При проведении исследований в бассейне реки Миус не обнаружены виды растений и животных, которые занесены в Красную книгу и подлежат охране.

Карп обыкновенный (*Cyprinus carpio*), окунь обыкновенный (*Perca fluviatilis*), лещ обыкновенный (*Abramis brama*) и плотва обыкновенная (*Rutilus rutilus*) относятся к видам водных биологических ресурсов-индикаторов сапробности — бетамезосапробы т.е. могут обитать в среднезагрязненных или почти очистившихся от бывшего загрязнения водоёмах, с азотом в виде аммония, нитритов и нитратов.

Последующая работа будет направлена на проведение сравнительного изучения экологических характеристик водной среды и объектов ихтиофауны реки Миус до начала и в период проведения боевых действий.

Заключение

Экологическое состояние реки Миус является удовлетворительным с мезотрофным статусом.

Ширина русла реки Миус на исследуемых гидрологических станциях составила 0,137–0,430 км, средняя глубина — 2,4–3,9 м, стокое течение — слабое (1,5–2 л/с с 1 км²), степень зарастания — 15–20 % (4 класс, умеренно заросшая). Наличие в флористическом списке таких информативных видов водных растений, как тростник обыкновенный, роголистник темно-зеленый и элодея канадская, указывает на значительное антропогенное влияние на экосистему реки Миус, а именно — начального этапа заболачивания.

На низкое качество водной среды р. Миус по показателям гидрохимического исследования указывает дефицит кислорода (ГС № 1), превышение допустимой концентрации по нитратам (ГС № 1–4), нитритам (ГС № 3) и сероводороду (ГС № 2–4).

Комплексные гидробиологические исследования, проведенные в бассейне реки Миус, позволили изучить видовое разнообразие гидробионтов, а также определить качественный и количественный состав фитопланктона, зоопланктона и зообентоса, для последующей оценки динамики антропогенного воздействия на водные биологические ресурсы и среду их обитания. В составе фитопланктона, зоопланктона и зообентоса бассейна реки Миус среди индикаторных видов-сапробионтов преобладают β -мезосапробы и α -мезосапробы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. — М.: Совет. наука, 1986. Т. 1. — 420 с.
2. Дедикова Т.Н. Оценка гидрохимических и гидрологических показателей воды реки Волги / Т.Н. Дедикова, П.И. Бухарицин // Наука и современность. — 2010. — № 1. — С. 57–60.
3. Комплексная оценка экологического состояния малых рек (на примере реки Подстепновки) / В.А. Селезнев, А.В. Селезнева, А.В. Рахуба и др. // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. — 2018. — № 6. — С. 83–100.
4. Комплексные исследования экологического состояния прибрежной акватории Севастополя (Западный Крым, Черное море) / В.И. Рябушко, С.В. Щуров, Н.П. Ковригина и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. — 2020. — № 1. — С. 103–118.
5. Кутикова Л.А., Старобогатов Я.И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР: планктон и бентос. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 511 с.
6. Лаврентьева Г.М., Бульон В.В. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Фитопланктон и его продукция. — Л., 1981. — 31 с.
7. Маркин В.Н. Оценка экологического состояния рек при разных уровнях загрязненности / В.Н. Маркин // Природообустройство. — 2012. — № 5. — С. 70–73.
8. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской части. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2010. Т. 1. — 495 с.
9. Оценка экологических процессов в ульяновских заливах реки Свияги / Е.В. Свешникова, Е.М. Романова, В.Н. Любомирова и др. // Ульяновский медико-биологический журнал. — 2024. — № 1. — С. 130–147.
10. Цалолихин С.Я., Пржиборо А.А., Кияшко П.В. и др. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод европейской России. — М.: 2016. Т. 2. Зообентос. — 510 с.

© Должанов Павел Борисович (alekseevadonagra@yandex.ru); Алексеева Наталья Викторовна; Мироненко Оксана Александровна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НЕФЕРМЕНТАТИВНОЙ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ

Осинкина Татьяна Владимировна

канд. биол. наук, ФГБОУ ВО «Оренбургский
государственный медицинский университет»

Министерства здравоохранения

osinkina12@mail.ru

ANALYSIS OF CHANGES IN THE PARAMETERS OF THE NON- ENZYMATIC ANTIOXIDANT SYSTEM OF HIGHER PLANTS UNDER THE INFLUENCE OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS

T. Osinkina

Summary. The article presents the results of a model experiment to assess the impact of PCBs: Sovol solution (a mixture of tetra-, penta- and hexa-PCBs) in concentrations of 0.0005; 0.001; 0.0012 mg/l on plants of the species annual sunflower (*Heliánthus ánnuus*) and shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik). The material for the study was sprouts, leaves and flowers of the studied plants of different ages. The content of pigments and hydroxycinnamic acids was determined in the samples by the spectrophotometric method, for lycopene and β -carotene against n-hexane, for chlorogenic and caffeic acids against ethyl alcohol. The aim of the work was to analyze the effect of PCBs on the indices of the non-enzymatic antioxidant system of annual sunflower (*Heliánthus ánnuus*) and shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) in a model experiment. For sunflower, by the flowering period, the amount of chlorogenic acid increased by 62 times, caffeic acid by 13.5 times. The increase in the content of β -carotene and lycopene was also characterized by positive dynamics: for β -carotene, the values varied within 0.0077–1.987 mg/l, for lycopene 0.0037–1.943 mg/l. By the time of flowering, the content of β -carotene increased by 25.8 times, lycopene by 22.3 times. The content indicators for hydroxycinnamic acids in shepherd's purse (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) increased from the seedling stage to flowering: for chlorogenic acid within 0.005–0.07 %, for coffee acid 0.005–0.089 %. Based on the excess of lycopene in comparison with β -carotene, it follows that lycopene slowly cyclizes into β -carotene and, therefore, acts in the plant, apparently, together with antioxidant enzymes and hydroxycinnamic acids under the influence of elevated concentrations of PCBs — 0.001 mg / l and 0.0012 mg / l. It has been shown that PCBs affect the amount of β -carotene and lycopene even in the case of low concentrations of PCBs during their initial entry into the plant.

Keywords: lycopene, β -carotene, chlorogenic acid, caffeic acid, polychlorinated biphenyls, toxicants, shepherd's purse, sunflower.

Аннотация. В статье отражены результаты модельного эксперимента по оценке влияния ПХБ: раствор Совола (смесь тетра-, пента- и гекса-ПХБ) в концентрациях 0,0005; 0,001; 0,0012 мг/л на растения видов подсолнечник однолетний (*Heliánthus ánnuus*) и пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik). В качестве материала исследования выступили проростки, листья и цветки исследуемых растений разных возрастов. Содержание пигментов и гидроксикоричных кислот определяли в образцах спектрофотометрическим методом, для ликопина и β -каротина против н-гексана, для хлорогеновой и кофейной кислот против этилового спирта. Цель работы — анализ воздействия ПХБ на показатели неферментативной антиоксидантной системы подсолнечника однолетнего (*Heliánthus ánnuus*) и пастушьей сумки обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) в модельном эксперименте. Для подсолнечника к периоду цветения количество хлорогеновой кислоты возросло в 62 раза, кофейной в 13,5 раза. Рост содержания β -каротина и ликопина характеризовался также положительной динамикой: для β -каротина значения варьировали в пределах 0,0077–1,987 мг/л, для ликопина 0,0037–1,943 мг/л. К моменту цветения содержание β -каротина возросло в 25,8 раза, ликопина в 22,3 раза. Показатели содержания для гидроксикоричных кислот в пастушьей сумке обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) росли от стадии проростков к цветению: для хлорогеновой кислоты в пределах 0,005–0,07 %, для кофейной 0,005–0,089 %. Исходя из превышения ликопина в сравнении с β -каротином, следует, что ликопин медленно циклизуется в β -каротин и, следовательно, действует в растении, по-видимому, совместно с антиоксидантными ферментами и гидроксикоричными кислотами при действии повышенных концентраций ПХБ — 0,001 мг/л и 0,0012 мг/л. Показано, что ПХБ влияют на количество β -каротина и ликопина даже в случае малых концентраций ПХБ при их первичном поступлении в растение.

Ключевые слова: ликопин, β -каротин, хлорогеновая кислота, кофейная кислота, полихлорированные бифенилы, токсиканты, пастушья сумка обыкновенная, подсолнечник однолетний.

Введение

Высшие растения, в соответствии с результатами многочисленных экспериментов, являются организмами, способными использовать аэрогенный механизм поглощать водо- и газопылевые фракции токсических соединений различного генеза из среды обитания [7, с. 201]. Однако поступление в растительный организм экзогенных ксенобиотиков вызывает разнообразные изменения физиолого-биохимических, морфологических, анатомических параметров: отклонения от биологических норм которых влекут за собой некоторые значительные перестройки метаболизма растений. В частности, подобные воздействия могут спровоцировать уменьшение выработки клетками растений защитных факторов — биологически активных веществ, служащих с одной стороны факторами иммунитета растений, с другой стороны, определяющие ценность растения для медицины и фармации. Данные изменения в конечном итоге могут отразиться и на жизнеспособности организма [9, с. 195].

Опасным последствием воздействия аэротехногенных выбросов горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, а также транспорта на растительные организмы следует расценивать развитие окислительного стресса [9, с. 198]. Процесс запускается и, зачастую, поддерживается действием активных форм кислорода (АФК), образование которых сопровождается, как правило, проникновением в клетки организма различных поллютантов, способных вызывать и поддерживать свободнорадикальные процессы, перекисного окисления липидов (ПОЛ), окисления белков (стойкая окислительная денатурация), повреждение и искажение структуры ДНК [6, с. 268; 12, с. 1294].

Материалы и методы

Анализ состояние антиоксидантных систем наземных растений важен для изучения степени воздействия ПХБ в небольших концентрациях, обнаруживаемых в природных средах и, так или иначе, аккумулируемых растениями через почвенный слой. В модельном эксперименте при действии раствора Совола (смесь тетра-, пента- и гекса-ПХБ) с концентрацией 0,0005; 0,001; 0,0012 мг/л анализировались показатели пигментов и гидроксикоричных кислот в растениях на этапах «проростков», «вегетации» и «цветения». Данные концентрации соответствовали минимальному (0,0005 мг/л), максимальному содержанию (0,0012 мг/л) ПХБ в реке Урал, определенному ранее [5, с. 140]. В качестве тест-объектов для исследования были выбраны виды наземных растений — подсолнечник однолетний (*Heliánthus ánnuus*) и пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik), относящиеся к классу двудольных. Выбор растений определялся исходя из достаточно ши-

рокого распространения рассматриваемых видов и применения их в качестве источников биологически активных соединений.

Содержание гидроксикоричных кислот определяли спектрофотометрическим методом в соответствии со стандартными методиками пробоподготовки растительного сырья [4, с. 285–287].

Сумму гидроксикоричных кислот вычисляли по формуле:

$$X, \% = \frac{A \times 50 \times 100 \times 100}{E_{1\%1\text{см}} \times m \times 1 \times 100 - w}$$

где A — оптическая плотность испытуемого раствора; — удельный показатель поглощения хлорогеновой кислоты при длине волны 330 нм, равный 507; для кофейной кислоты 325 нм, m — навеска сырья, г; 1 — объем экстракта, взятого для разведения, мл; 100, 50 — объемы мерных колб, используемых для анализа, мл; w — влажность сырья, %.

Определение каротиноидов проводили спектрофотометрическим методом на приборе ПЭВИ 5300, измерения проводили в кюветках с длиной оптического пути 10 мм против гексана. Точное содержание отдельных каротиноидов устанавливали по формулам (Muratore et al, 2005), пробоподготовка растительного сырья осуществлялась в соответствии со стандартными методами [4, с. 288]:

$$C_k = 462 * D_{451} - 309 * D_{503} \text{ (для гексановых фракций)}$$

где C_k — концентрация каротиноидов (β -каротина) (мг/л), E_{451} — оптическая плотность каротиноидов при длине волны 451 нм, соответственно; E_{503} — оптическая плотность каротиноидов при длине волны 503 нм, соответственно.

Содержание пигмента ликопина (мг/л) определяют по формуле:

$$C_{lik} = 395 * D_{503} - 80,5 * D_{451}$$

где C_{lik} — концентрация ликопина (мг/л), E_{451} — оптическая плотность ликопина при длине волны 451 нм, соответственно; E_{503} — оптическая плотность ликопина при длине волны 503 нм, соответственно.

Статистическую обработку результатов эксперимента производили с использованием пакета MS Excel 2010 «Анализ данных» (Microsoft, USA).

Литературный обзор

Среди групп соединений, индуцирующих повышенный риск экзогенного окислительного стресса, следует

рассматривать группу ПХБ (полихлорированных бифенилов). Полихлорированные бифенилы — обширная группа органических соединений, относящихся к классу ароматических, химически инертных хлорированных углеводородов, включающая в себя все хлорзамещенные производные дифенила [10, с. 593].

Выраженная химическая инертность, незначительная летучесть, негорючесть, высокая диэлектрическая константа обеспечили ПХБ широкое распространение в различных отраслях промышленности [8, с. 10–12]. Впервые соединения стали производиться в 1929 г. и широко использовались в Японии, СССР, Восточной и Западной Европе до начала 1970 г. [2, с. 50–51]. Около 60–65 % ПХБ применялись в закрытых системах, связанных с переносом тепла и электроэнергии, 25 % — как пластификатор при изготовлении прозрачной копировальной бумаги и менее 6 % при производстве различных пестицидов [11, с. 646–647]. В настоящее время открытое применение ПХБ запрещено, но значительное количество их содержится в крупногабаритном оборудовании с длительным сроком эксплуатации (трансформаторы, конденсаторы). В клетки организма человека ПХБ и их компоненты поступают, в частности, с пищей (до 97 %) [8, с. 9]. Их выявляют в пищевых продуктах животного и растительного происхождения, значительно в грудном молоке и крови младенцев [3, с. 353]. Полихлорированные бифенилы — это выраженные суперэкоксиканты, оказывающие стойкое общетоксическое, мутагенное и канцерогенное действие, ухудшающие репродуктивную функцию различных организмов, а также нарушающие различные звенья работы и структуры эндокринной системы, в частности, железистую ткань. Важно, что степень токсического воздействия зависит от структуры молекул ПХБ и количества атомов хлора: наибольший токсический эффект оказывают планарные конденсированные соединения с 4, 5 или 6 атомами хлора, которые наиболее подвижны и реакционноспособны в данных положениях [7, с. 204; 10, с. 594]. Длитель-

ное воздействие ПХБ приводит к снижению иммунной устойчивости не только теплокровных организмов, но и растений, в частности. Так, в регионах, загрязненных ПХБ, фиксируется резкое уменьшение напряженности поствакцинального иммунитета против бактериальных инфекций: дифтерии, столбняка и кори у детей, прошедших вакцинацию по возрастным схемам. Установлено уменьшение численности детей, имеющих адекватные защитные титры антител, а также возрастает относительное число детей, практически не имеющих антител после иммунизации [6, с. 342; 1, с. 3]. В результатах экспериментов описан вероятный механизм токсического действия ПХБ, основанный на активизации содержащей цитохром Р-450 монооксигеназной системы. Она отвечает за окислительный метаболизм ксенобиотиков гидрофобной природы и способствует за счет увеличения числа гидроксильных групп повышению растворимости токсикантов и естественному выводу из организма [7, с. 202; 13, с. 35].

Результаты и обсуждение

По результатам анализа содержания гидроксикоричных кислот в пересчете на хлорогеновую и кофейную установлено, что количество хлорогеновой варьировало в пределах от 0,004 до 1,05 г/мл, кофейной от 0,002 до 0,0075 г/мл (рис. 1).

К периоду цветения количество хлорогеновой кислоты возросло в 62 раза, кофейной в 13,5 раза (рис. 2). Учитывая результаты экспериментов, проведенных ранее — активность антиоксидантных ферментов при повышении концентрации ПХБ до 0,0005 мг/л, снижалась, повышенное содержание хлорогеновой и кофейной кислот как активных соединений, обладающих выраженной антиоксидантной активностью выступало защитным механизмом для стабилизации и снижения уровня АФК (активных форм кислорода) и радикалов в клетках при цветении подсолнечника. Резкое повышение concentra-

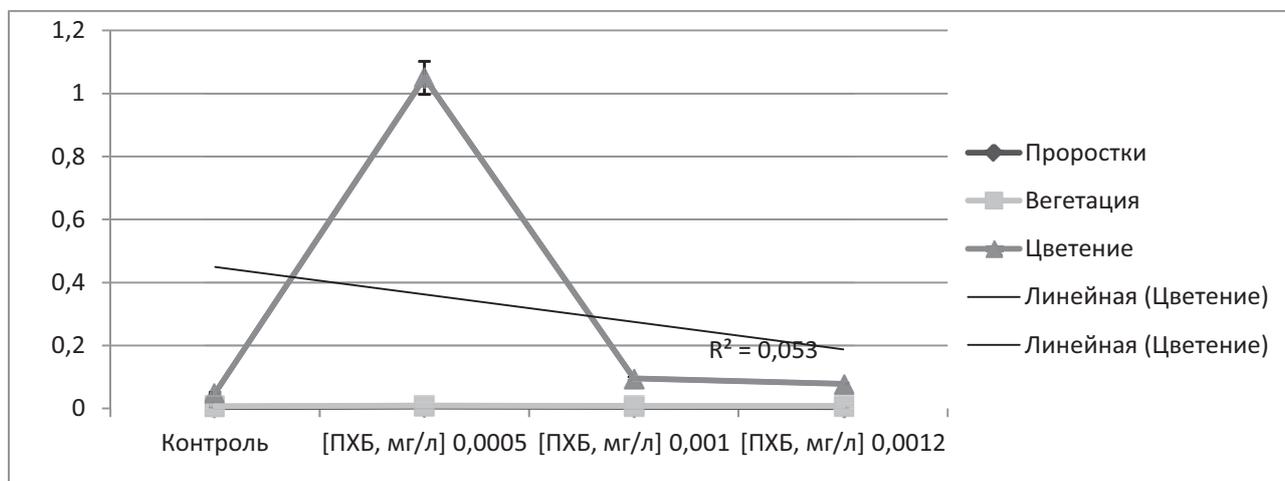


Рис. 1. Содержание хлорогеновой кислоты (%) в подсолнечнике однолетнем (*Helianthus annuus*)

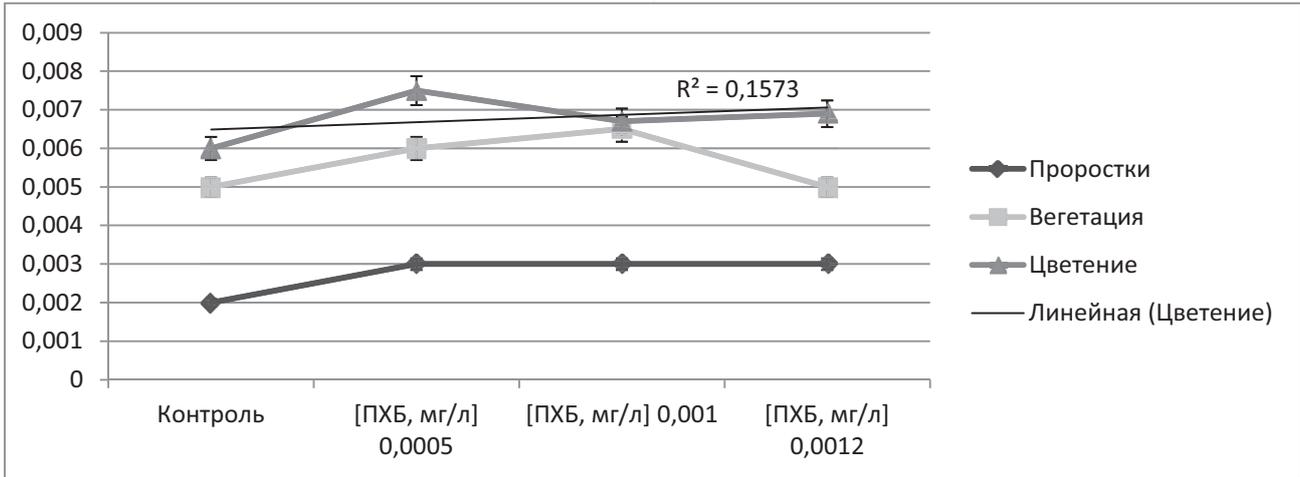


Рис. 2. Содержание кофейной кислоты (%) в подсолнечнике однолетнем (*Heliánthus ánnuus*)

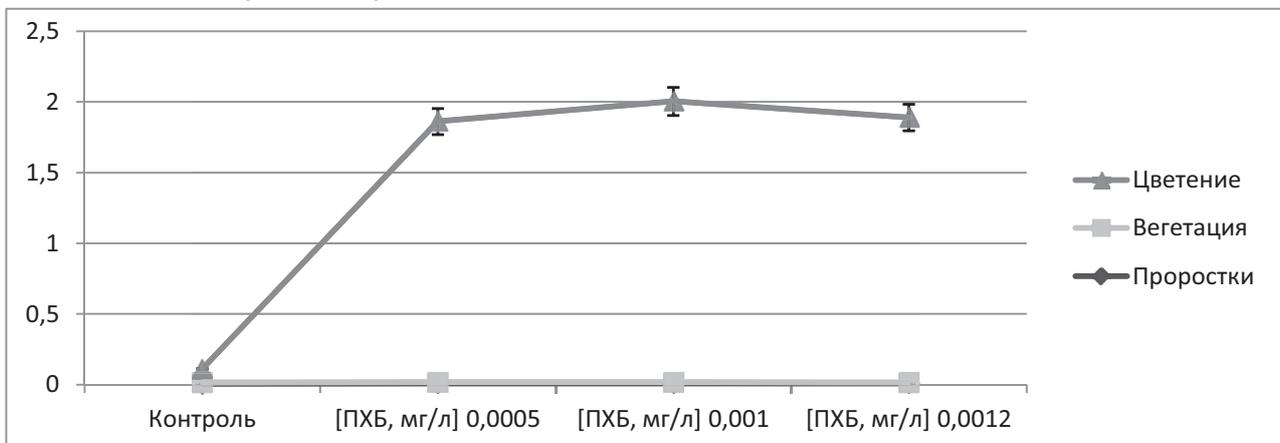


Рис. 3. Содержание β-каротина (мг/л) в подсолнечнике однолетнем (*Heliánthus ánnuus*)

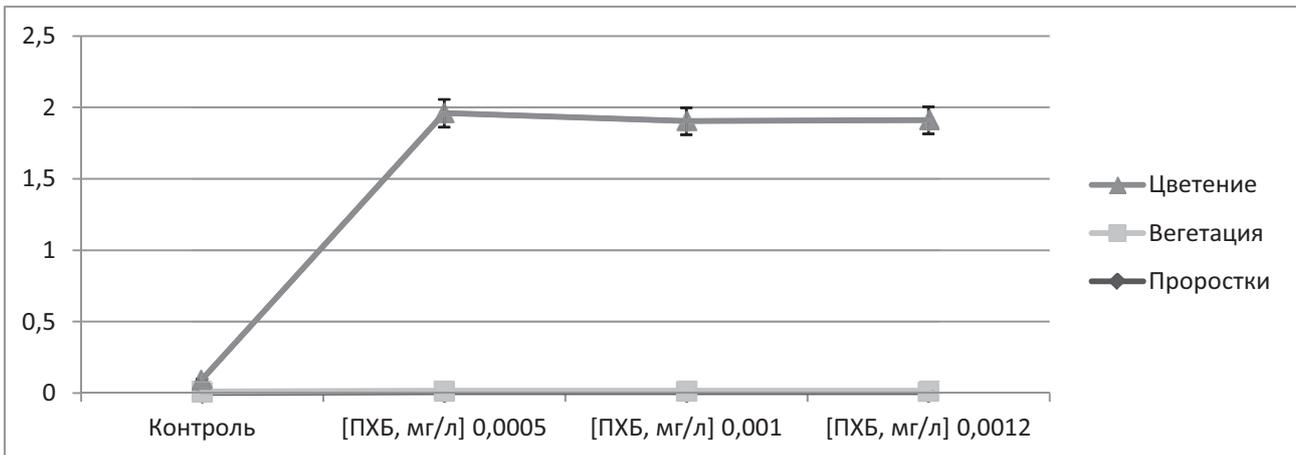


Рис. 4. Содержание ликопина (мг/л) в подсолнечнике однолетнем (*Heliánthus ánnuus*)

ции хлорогеновой и кофейной кислот при первичном попадании ПХБ (0,0005 мг/л) в растении на этапе цветения подтверждает факт «включения» неферментативной антиоксидантной защиты подсолнечника однолетнего от оксидативного стресса в условиях снижения активности антиоксидантных ферментов, видимо, по причине токсического действия ПХБ на их активные центры. Это пример компенсаторного действия механизмов защиты

растения в условиях острой интоксикации экзогенными поллютантами.

К компонентам неферментативной антиоксидантной защиты также относятся β-каротин и его предшественник ликопин. Рост количеств β-каротина и ликопина характеризовалось сходной положительной динамикой: для β-каротина значения варьировали в пределах

0,0077–1,987 мг/л (рис. 3), для ликопина 0,0037–1,943 мг/л (рис. 4). К моменту цветения содержание β -каротина возросло в 25,8 раза, ликопина в 22,3 раза. Так как числовые значения пигментов различались незначительно и изменялись практически синхронно, следует предполагать активный метаболизм пигментов, направленный на защиту растения от АФК в условиях действия ПХБ.

Показатели количественного содержания для гидроксикоричных кислот в пастушьей сумке обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) росли от стадии проростков к цветению: для хлорогеновой кислоты в пределах 0,005–0,07 % (рис. 5), для кофейной 0,005–0,089 % (рис. 6).

Достоверный рост содержания хлорогеновой кислоты в соответствии с линией тренда по показателю аппроксимации отмечен для стадии проростков и вегетации: значение близко к 1 (0,766) в проростках и соответствует значению 0,695 для вегетации. Кофейная кислота в растении, как правило, сопровождается изомеры хлорогеновой кислоты и обладает выраженной анти-

оксидантной активностью при снижении pH клеточного сока в пределах 6,5–6,8 в случае роста концентраций H^+ в клетках при токсических или механических повреждениях растения.

Особо подобные явления характерны для периода наращивания вегетативной массы и подготовке к бутонизации, сопровождающейся выработкой растением абсцизовой, муравьиной кислот и ауксина.

В отношении содержания β -каротина и ликопина установлен скачкообразный рост их количества к моменту бутонизации и цветения для β -каротина в 28 раз (рис. 7), для ликопина в 269 раз (рис. 8).

Исходя из превышения ликопина в сравнении с β -каротином, следует, что ликопин медленно циклизуется в β -каротин и, следовательно, действует в растении, по-видимому, совместно с антиоксидантными ферментами и гидроксикоричными кислотами при действии повышенных концентраций ПХБ — 0,001 мг/л и 0,0012 мг/л. Показано также, что ПХБ влияют на ко-

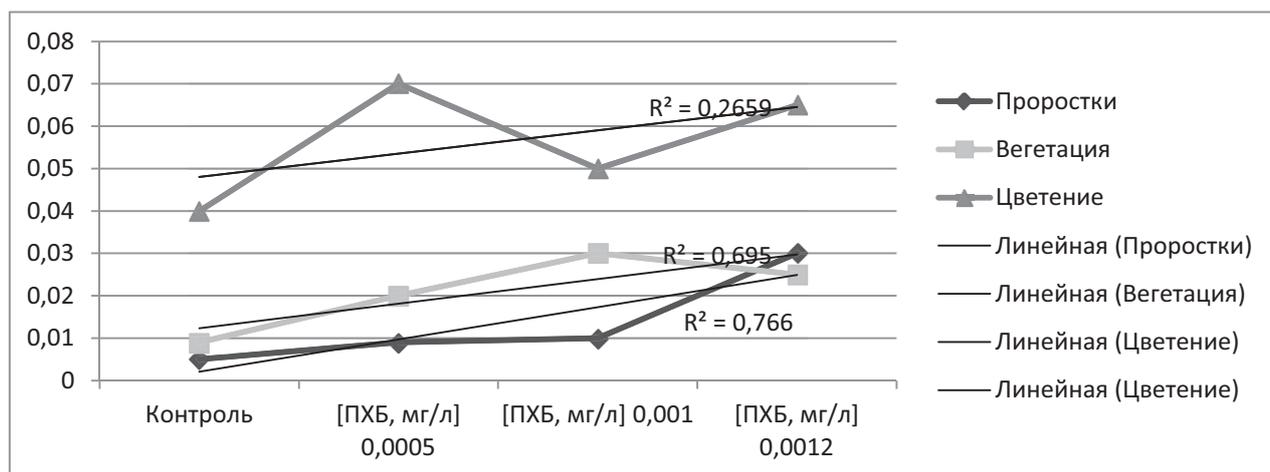


Рис. 5. Содержание хлорогеновой кислоты (%) в пастушьей сумке обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik)

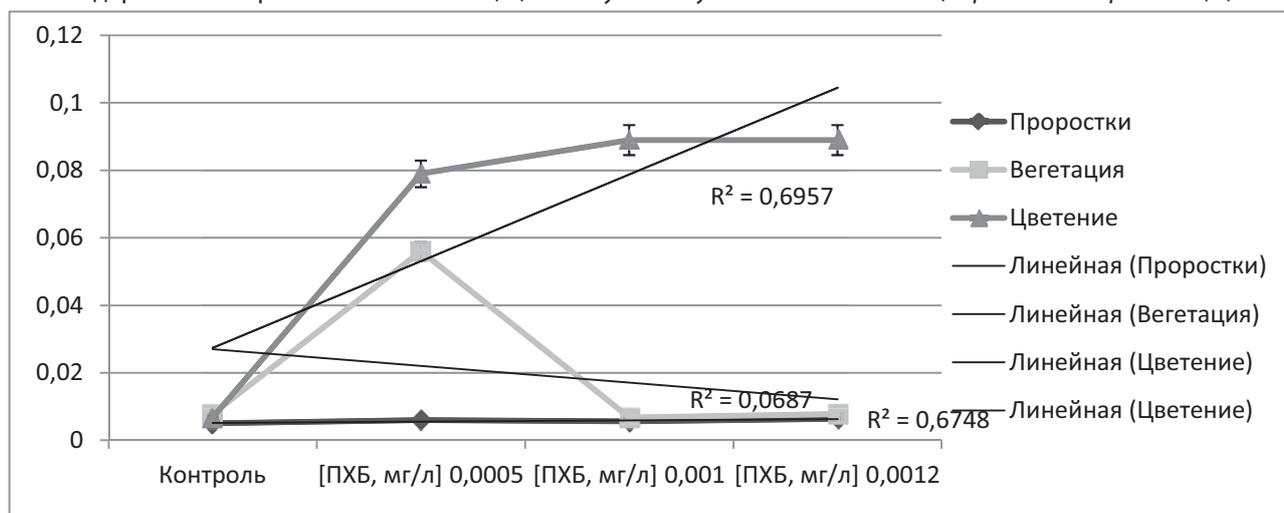


Рис. 6. Содержание кофейной кислоты (%) в пастушьей сумке обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik)

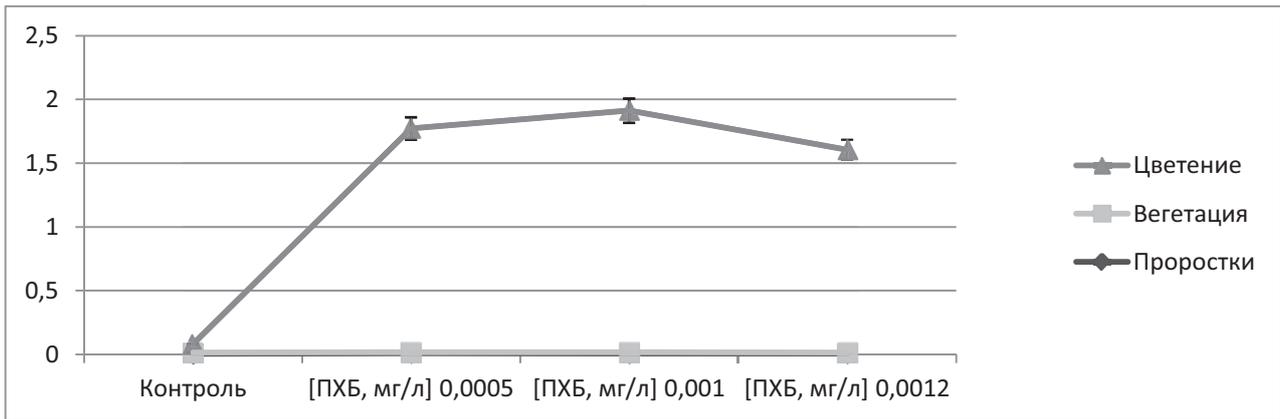


Рис. 7. Содержание β-каротина (мг/л) в пастушьей сумке обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik)

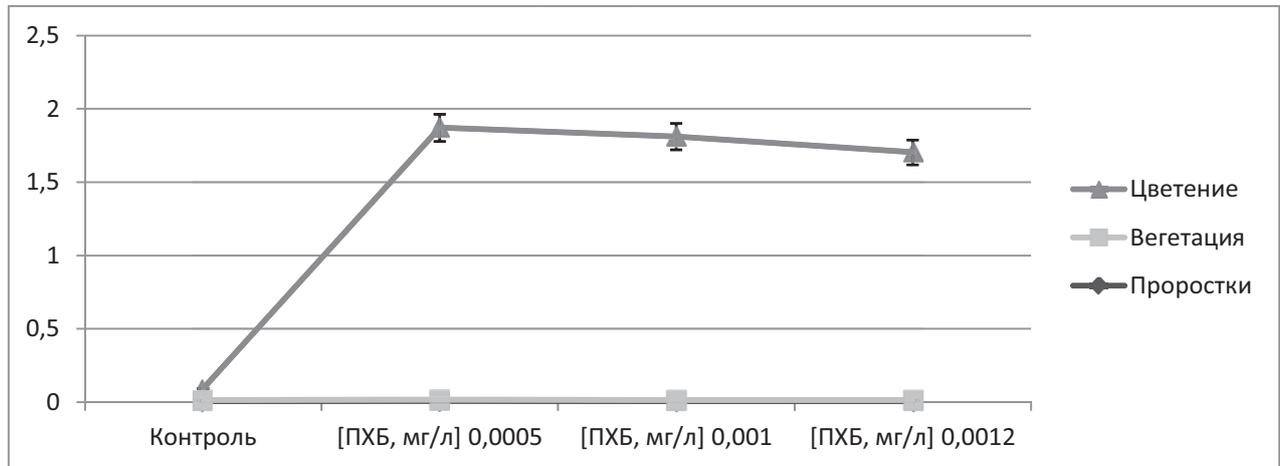


Рис. 8. Содержание ликопина (мг/л) в пастушьей сумке обыкновенной (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik)

личество β-каротина и ликопина даже в случае воздействия малых концентраций ПХБ при их первичном поступлении в растение. Для β-каротина на этапах проростков, вегетации и цветения рост показателя составил в среднем в 9,1 раза, для ликопина в 8,3 раза.

Заключение

Таким образом, в ходе проведенного модельного эксперимента установлено:

1. Подсолнечник однолетний (*Helianthus annuus*) и пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik) реагируют в модельном эксперименте на присутствие полихлорированных бифенилов выраженными изменениями показателей неферментативной антиоксидантной защиты — содержанием гидроксикоричных кислот (хлорогеновой и кофейной) и пигментов (β-каротина и ликопина);
2. Для подсолнечника однолетнего в период цветения содержание хлорогеновой кислоты возросло

в 6 раз, по сравнению с кофейной, содержание β-каротина в 2,5 раза в сравнении с ликопином;

3. Для пастушьей сумки в период цветения содержание хлорогеновой кислоты возросло в 14 раз, в случае β-каротина и ликопина установлен скачкообразный рост их количества к моменту бутонизации и цветения для β-каротина в 28 раз, для ликопина в 269 раз. Показано, таким образом, что пастушья сумка обыкновенная реагирует на воздействие ПХБ более выражено и остро;
4. Учитывая, что пастушья сумка обыкновенная является фармакопейным видом, при планировании сбора растительного сырья следует учитывать возможную аккумуляцию токсических соединений, в частности ПХБ, в среде произрастания данного вида и ограничивать сбор на территориях, расположенных в зонах риска по наличию ПХБ в верхних горизонтах почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскарлов И.Р. Сравнительное изучение содержания каротиноидов в различных экоформах шафрана // *Universum: химия и биология: электрон. научн. журн.* 2023. С. 1–5.
2. Бровар Т.Г. Влияние почвенной засухи на содержание фотосинтетических пигментов в растениях ячменя // *Журнал Белорусского государственного университета. Биология.* № 3. 2020. С. 46–53
3. Ефремов Г.И. Влияние содержания каротиноидов и активности гена каротиноид-цис-транс-изомеразы *crts10* на окраску плода томата // *Физиология растений.* 2022. Т. 69. № 4. С. 352–362.
4. Ковалева Н.А. Исследование состава пигментов (каротиноидов и хлорофиллов) листьев облепихи крушиновидной методом ТСХ // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2022. Т. 22. № 3. С. 284–298.
5. Курдюков Е.Е. Количественное определение суммы каротиноидов в плодах дерезы китайской *Lucium chinense mill.* // *Химия растительного сырья.* 2020. №3. С. 139–144.
6. Курегян А.Г. Теоретическое и экспериментальное обоснование получения индивидуальных каротиноидов и создание на их основе лекарственных средств: дис. доктор биол. наук. Пермь. 2020. 379 с.
7. Севостьянов С.М. Пространственно-временные аспекты распределения полихлорированных бифенилов в почвенном покрове г. Серпухова // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук.* 2010. т. 2. № 1. С. 201–204.
8. Стокгольмская конвенция о стойких органических загрязнителях с изменениями на 10 мая 2019 года / URL: <https://docs.cntd.ru/document/901821036> (дата обращения 11.08.2021)
9. Суюнова А.Б. Исследование мышечной ткани рыб, отловленных в Каспийском море, на содержание хлорорганических пестицидов // *Вестник ОмГАУ.* 2016. Т. 2. № 22. С. 194–199.
10. Шилов В.В. Биомониторинг воздействия вредных химических веществ на основе современных биомаркеров. Обзор литературы // *Гигиена и Санитария.* 2019. Т. 98. № 6. С. 591–596.
11. Филюшин М.А. Зависимость окраски плодов перца от соотношения основных пигментов и профиля экспрессии генов биосинтеза каротиноидов и антоцианов // *Физиология растений.* 2020. Т. 67. № 6. С. 644–653.
12. Puri R.K. Studies of parameters affecting translocation of tetrachlorodibenzo-p-dioxin in soil // *Chemosphere.* 1989. v.18: 1291–1296
13. Othman R. Characterization of Carotenoids Content and Composition of Saffron from Different Localities // *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences.* 2020. 10. 34–40.

© Осинкина Татьяна Владимировна (osinkina12@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИНТЕГРАЦИЯ PROCESS MINING ДЛЯ АНАЛИЗА ФИНАНСОВЫХ ТРАНЗАКЦИЙ: ВЫЗОВЫ И РЕШЕНИЯ

Воробьев Владислав Викторович

Аспирант, Сибирский государственный университет
науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева
vvlad1997@mail.ru

INTEGRATION OF PROCESS MINING FOR FINANCIAL TRANSACTION ANALYSIS: CHALLENGES AND SOLUTIONS

V. Vorobyov

Summary. Financial process analysis is an important element in ensuring the efficiency and stability of organisations. Traditional analysis methods are often hampered by the volume and disparate nature of data. The implementation of process mining can automate the analysis, increase the understanding of the relationships between financial events and identify weaknesses in processes. This study aims to identify the challenges associated with integrating process mining into financial data analysis and develop recommendations to address them. The focus is on data quality, the complexity of extracting information from ERP systems and methods to improve the accuracy of analysis. The results show that the use of process mining helps to improve cash flow, enhance risk management and increase process transparency.

Keywords: Process Mining, financial analysis, invoice processing, data quality, ERP systems, process optimisation, anomaly detection, risk management.

Аннотация. Анализ финансовых процессов является важным элементом для обеспечения эффективности и стабильности организаций. Традиционные методы анализа часто сталкиваются с трудностями, связанными с объемом и разрозненностью данных. Внедрение Process Mining позволяет автоматизировать анализ, углубить понимание взаимосвязей между финансовыми событиями и выявить слабые места в процессах. Данное исследование направлено на определение проблем, связанных с интеграцией Process Mining в анализ финансовых данных, и разработку рекомендаций для их решения. Основное внимание уделяется качеству данных, сложности извлечения информации из ERP-систем и методам повышения точности анализа. Результаты показывают, что использование Process Mining способствует улучшению денежных потоков, повышению управления рисками и увеличению прозрачности процессов.

Ключевые слова: Process Mining, финансовый анализ, обработка счетов-фактур, качество данных, ERP-системы, оптимизация процессов, выявление аномалий, управление рисками.

Введение

Анализ финансовых процессов является критически важным аспектом для обеспечения эффективности, прозрачности и устойчивости деятельности организаций. В современных условиях, когда объемы данных значительно увеличиваются, традиционные методы анализа финансовых транзакций сталкиваются с серьезными проблемами, связанными с разрозненностью данных и сложностью их обработки. В этом контексте использование Process Mining открывает новые горизонты для автоматизации анализа и углубленного понимания взаимосвязей между финансовыми событиями. Данный подход позволяет выявлять узкие места, нарушения в процессах и потенциальные точки для оптимизации. Финансовый анализ играет ключевую роль в управлении и оптимизации бизнеса. В условиях быстро меняющейся экономической среды эффективный анализ финансовых данных становится необходимым для принятия обоснованных решений и адаптации к изменениям [1].

Process Mining предоставляет широкий спектр возможностей для анализа финансовых данных, позволяя интегрировать финансовые потоки с бизнес-процесса-

ми. Направление предлагает инструменты для детального мониторинга операций, обнаружения мошеннических действий и контроля за соответствием внутренним и внешним требованиям. Например, в области обработки счетов-фактур Process Mining помогает визуализировать весь процесс — от получения документа до его оплаты, выявляя задержки или неэффективности. Цель исследования заключается в выявлении ключевых вызовов, связанных с применением Process Mining в области финансовых данных, а также в разработке подходов к их преодолению. В ходе исследования уделено особое внимание качеству данных, сложности их извлечения из ERP-систем (например, SAP) и методам повышения точности и полезности результатов анализа.

Process Mining активно применяется для анализа финансовых процессов с использованием различных подходов, которые способствуют более глубокому пониманию и оптимизации бизнес-процессов.

Изучение финансовых процессов с использованием Process Mining имеет несколько ключевых преимуществ. Во-первых, это улучшение эффективности, которое позволяет значительно сократить время обработки транзакций и снизить затраты. Во-вторых, повышение

прозрачности процессов обеспечивает более глубокое понимание операций, что способствует лучшему контролю и управлению рисками. Наконец, адаптация к изменениям позволяет быстро реагировать на изменения в рыночной среде и внутренние процессы, что критически важно в условиях динамичного бизнеса. Интеграция Process Mining в анализ финансовых транзакций представляет собой мощный инструмент для повышения эффективности и устойчивости бизнеса. Использование данного подхода открывает новые горизонты для оптимизации процессов и улучшения управления финансами.

Обзор литературы

Обзор литературы в данной области направлен на анализ существующих исследований, методов и практик, связанных с применением Process Mining в финансовом секторе. В главе рассматриваются основные методы Process Mining и их применение в финансах, проблемы обработки финансовых данных из ERP-систем, а также предыдущие исследования в области интеграции Process Mining в финансовый сектор.

Основные методы Process Mining

Существуют несколько ключевых методов Process Mining, которые активно используются для анализа финансовых процессов. Каждый из этих методов играет свою уникальную роль в оптимизации и улучшении бизнес-процессов:

1. Выявление процессов (Process Discovery). В финансовом секторе может включать анализ процессов обработки счетов-фактур, кредитования и управления денежными потоками [2].
2. Анализ соответствия (Conformance Checking). Использование данного метода особенно актуально для финансовых организаций, которым необходимо соблюдать строгие нормативные требования и внутренние политики.
3. Улучшение процессов (Process Enhancement). В финансовом контексте может включать рекомендации по улучшению сроков обработки транзакций или снижению затрат.
4. Анализ производительности (Performance Analysis).

Однако, несмотря на преимущества, обработка финансовых данных из ERP-систем представляет собой ряд вызовов, которые могут затруднить применение Process Mining. В числе этих вызовов можно выделить несколько ключевых аспектов.

Первым из них является качество данных. Неправильные, неполные или несогласованные данные могут существенно повлиять на результаты анализа. Ошибки в данных могут привести к неправильным выводам и не-

эффективным решениям, что подчеркивает важность предварительной обработки данных. Безусловно, высокое качество данных является основой для успешного анализа и принятия обоснованных решений в финансовом управлении.

Вторым вызовом является сложность интеграции. Интеграция данных из различных источников может быть сложной задачей из-за различий в форматах и структуре данных. Это требует значительных усилий по очистке и преобразованию данных перед их загрузкой в инструменты Process Mining. Необходимость унификации данных становится критически важной для обеспечения их совместимости и целостности.

Третьим аспектом является безопасность данных. Обеспечение безопасности и конфиденциальности финансовых данных является критически важным аспектом, особенно с учетом строгих нормативных требований.

Четвертым вызовом становится отсутствие стандартизации. Разные ERP-системы могут иметь различные подходы к хранению и обработке данных, что затрудняет создание единой модели для анализа. Этот вызов подчеркивает необходимость разработки универсальных стандартов для упрощения интеграции данных и повышения их доступности для анализа.

Предыдущие исследования в области интеграции Process Mining в финансовый сектор показывают растущий интерес к этому направлению. В соответствии с исследованием «Process Mining in the Financial Sector: A Systematic Literature Review» (Agerri & De Angelis, 2019), применение методов Process Mining позволяет не только выявлять узкие места в процессах, но и оптимизировать внутренние процедуры за счет автоматизации рутинных задач, что непосредственно влияет на снижение операционных затрат [3]. Кроме того, исследования показывают, что Process Mining может быть эффективно использован для выявления аномалий в транзакциях, что способствует улучшению управления рисками и предотвращению мошенничества. Обзор литературы показывает значительный потенциал применения Process Mining в анализе финансовых процессов, а также необходимость дальнейших исследований для преодоления существующих вызовов и улучшения методов анализа.

Методология исследования

Методология исследования включает в себя систематический подход к анализу финансовых процессов с использованием методов Process Mining. Интеграция Process Mining для анализа финансовых транзакций включает несколько ключевых этапов. На первом этапе определяются источники данных из SAP, такие как таблицы BKPF и BSEG, которые содержат данные о бухгалтер-

ских операциях. Затем данные выгружаются, очищаются от ошибок и преобразуются в формат Event Log. Анализ может производиться с использованием инструментов Process Mining, таких как Celonis и ProM, что позволяет выявить задержки, дублирующие операции и несоответствия. Полученные результаты используются для оптимизации процессов, включая автоматизацию согласования счетов и улучшение контроля за транзакциями.

Идентификация источников данных. На начальном этапе определяются ключевые таблицы ERP-систем (например, SAP), содержащие информацию о транзакциях. Основное внимание уделяется таблицам VKPF (главная бухгалтерская таблица) и BSEG (детали транзакций), которые обеспечивают доступ к временным меткам, статусам операций и суммам платежей.

Извлечение данных. С использованием SQL-запросов или ETL-инструментов данные выгружаются из системы. Объединение таблиц VKPF и BSEG позволяет связать транзакции с их временными метками и идентификаторами. Процесс обеспечивает создание структуры для дальнейшего анализа.

Очистка и стандартизация. На этапе подготовки данных устраняются дублирующие записи, обрабатываются пропущенные значения, а временные метки приводятся к унифицированному формату.

Преобразование в Event Log. Очищенные данные структурируются в виде журнала событий, где каждая строка представляет транзакцию с указанием идентификатора (Case ID), действия (Activity) и временной метки (Timestamp). Данные экспортируются в формат XES для использования в инструментах Process Mining [4].

Анализ процессов. Использование инструментов Process Mining, таких как ProM или Celonis, позволяет визуализировать модели процессов, анализировать их производительность и выявлять узкие места. Применяются алгоритмы Alpha Miner и Heuristic Miner для построения моделей процессов и проверки их соответствия нормативам.

Выявление аномалий. На основании данных выявляются отклонения и задержки, дублирующие операции или несоответствия в процессах. Алгоритмы кластеризации (K-Means, DBSCAN) помогают группировать события и находить выбросы [5].

Оптимизация процессов. Заключительный этап включает разработку рекомендаций по улучшению процессов. Например, предлагается автоматизация согласования счетов или внедрение систем контроля данных для предотвращения дублирования операций. Эти изменения позволяют улучшить управление рисками и повысить общую эффективность.

Для анализа финансовых процессов в рамках Process Mining применяются несколько ключевых алгоритмов и методов, которые позволяют извлекать полезные кейсы из событийных логов, такие как алгоритм индуктивного майнинга (Inductive Mining), генетические алгоритмы (Genetic Algorithms), анализ соответствия (Conformance Checking) [6].

Особенности подготовки финансовых данных для Process Mining

Подготовка данных из ERP-систем для анализа Process Mining включает несколько ключевых этапов:

1. **Извлечение данных:** На первом этапе необходимо выгрузить данные о транзакциях и событиях из ERP-системы в формате, подходящем для анализа. На рисунке представлена схема, отображающая ключевые данные, включая таблицы VKPF, BSEG и EKPO, а также их взаимосвязь.
2. **Очистка данных:** Осуществляется удаление дубликатов, исправление ошибок и заполнение пропусков в данных. Обеспечение качества данных является критически важным для получения достоверных результатов анализа.
3. **Форматирование данных:** Преобразование очищенных данных в формат событийного лога (например, XES), который будет использован в инструментах Process Mining. Этап позволяет структурировать данные таким образом, чтобы они были совместимы с выбранным инструментом [7].
4. **Анализ структуры данных:** Определение ключевых объектов и их взаимосвязей, что поможет в дальнейшем восстановлении модели бизнес-процесса.

Эти шаги обеспечивают корректное представление данных, что позволяет проводить более точный анализ. Важно отметить, что качественная подготовка данных является основой для успешного применения методов Process Mining, поскольку она влияет на достоверность и надежность получаемых результатов. Структурированные данные, сформированные в процессе подготовки, позволяют аналитикам выявлять закономерности и аномалии, которые могут быть упущены при использовании сырых данных.

В области Process Mining для анализа финансовых процессов используются различные инструменты, каждый из которых предлагает уникальные функции и возможности. Например, Celonis является одним из лидеров на рынке Process Mining и предлагает мощную платформу Execution Management System (EMS). Эта система поддерживает анализ процессов, выявление узких мест и оптимизацию операций. Celonis предоставляет пользователям возможность интеграции с различными источниками данных и визуализации результатов анализа.

Еще одним решением является QPR ProcessAnalyzer, которое активно применяется в финансовом секторе для выявления неэффективностей и оптимизации процессов [8]. Каждый из этих инструментов способствует эффективному анализу финансовых процессов и обеспечивает возможность принятия обоснованных решений. Методология исследования охватывает как теоретические аспекты применения Process Mining, так и практические шаги, связанные с подготовкой данных и выбором инструментов для их анализа. Использование современных инструментов Process Mining позволяет организациям не только улучшить качество анализа финансовых данных, но и повысить общую эффективность управления бизнес-процессами. Интеграция таких инструментов в повседневную практику может значительно улучшить прозрачность операций и способствовать более быстрому реагированию на изменения в финансовой среде, эффективному анализу финансовых процессов и обеспечивают возможность принятия обоснованных решений, на основе полученных данных [9]. Методология исследования охватывает как теоретические аспекты применения Process Mining, так и практические шаги, связанные с подготовкой данных и выбором инструментов для их анализа.

Реализация и разработка прототипа

Примером финансового процесса, подходящего для анализа с использованием Process Mining, является обработка счетов-фактур. Процесс включает несколько ключевых этапов:

1. Получение счета-фактуры: Счет-фактура поступает от поставщика.
2. Проверка данных: Сравнение данных счета с заказом и полученными товарами.
3. Утверждение: Согласование счета с ответственными лицами.
4. Оплата: Выплата суммы по счету в установленный срок.
5. Архивирование: Хранение документации для дальнейшего использования и аудита.

На Рисунке 1 представлена последовательность этапов процесса обработки счетов-фактур, начиная от получения документа и проверки данных до согласования, оплаты и архивирования.

Каждый из этих этапов генерирует события, которые фиксируются в журнале событий (event log), что позволяет анализировать процесс на предмет выявления узких мест и аномалий. Эффективность процесса важна для контроля затрат и своевременной оплаты поставщиков. Process Mining позволяет анализировать время выполнения каждого шага, выявлять задержки и несоответствия, дублирование счетов или их необоснованное отклонение.

Извлечение и трансформация данных из ERP-систем для анализа Process Mining включает несколько ключевых этапов. Сначала необходимо определить источники данных, таблицы, связанные с процессом, включая таблицы счетов, заказов и платежей. Данные о финансовых транзакциях, таких как счета-фактуры и статусы обработки, выгружаются из ERP-системы с использованием SQL-запросов или API [10]. При этом события из различных таблиц связываются с помощью уникальных идентификаторов, например, номера счета.

На следующем этапе происходит очистка данных, где удаляются дубликаты и исправляются ошибки. Также обрабатываются пропущенные значения и стандартизируются форматы данных. После этого очищенные данные преобразуются в формат событийного лога (например, XES), который включает поля, идентификатор транзакции, временные метки, тип события и статус. Важно убедиться, что данные структурированы таким образом, чтобы они могли быть использованы выбранным инструментом Process Mining.

Завершающим шагом является анализ структуры данных, на котором определяются ключевые атрибуты, такие как участники процесса и временные рамки, которые помогут в дальнейшем анализе. Эти шаги обеспечивают корректное представление данных для анализа, создавая основу для выявления ключевых аспектов финансовых процессов.

Для кластеризации финансовых транзакций можно применять различные алгоритмы. Например, алгоритм K-means позволяет группировать данные на основе их сходства, что особенно полезно для выделения групп транзакций по различным признакам, таким как сумма платежа или частота операций. Метод также используется для группировки событий по временным меткам или стоимости, что помогает выявлять нестандартные отклонения [11].

Другим алгоритмом является DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise), который находит кластеры произвольной формы и выявляет аномалии (шум) в данных. Подход полезен для обнаружения необычных транзакций среди событий с плотной структурой данных [12].

Метод Hierarchical Clustering строит дерево кластеров на основе расстояний между объектами, что позволяет визуализировать связи между транзакциями и выявлять группы с похожими характеристиками [13].

Применение указанных методов кластеризации позволяет выделить ключевые области для дальнейшего анализа, задержки в оплате счетов или повторяющиеся операции.

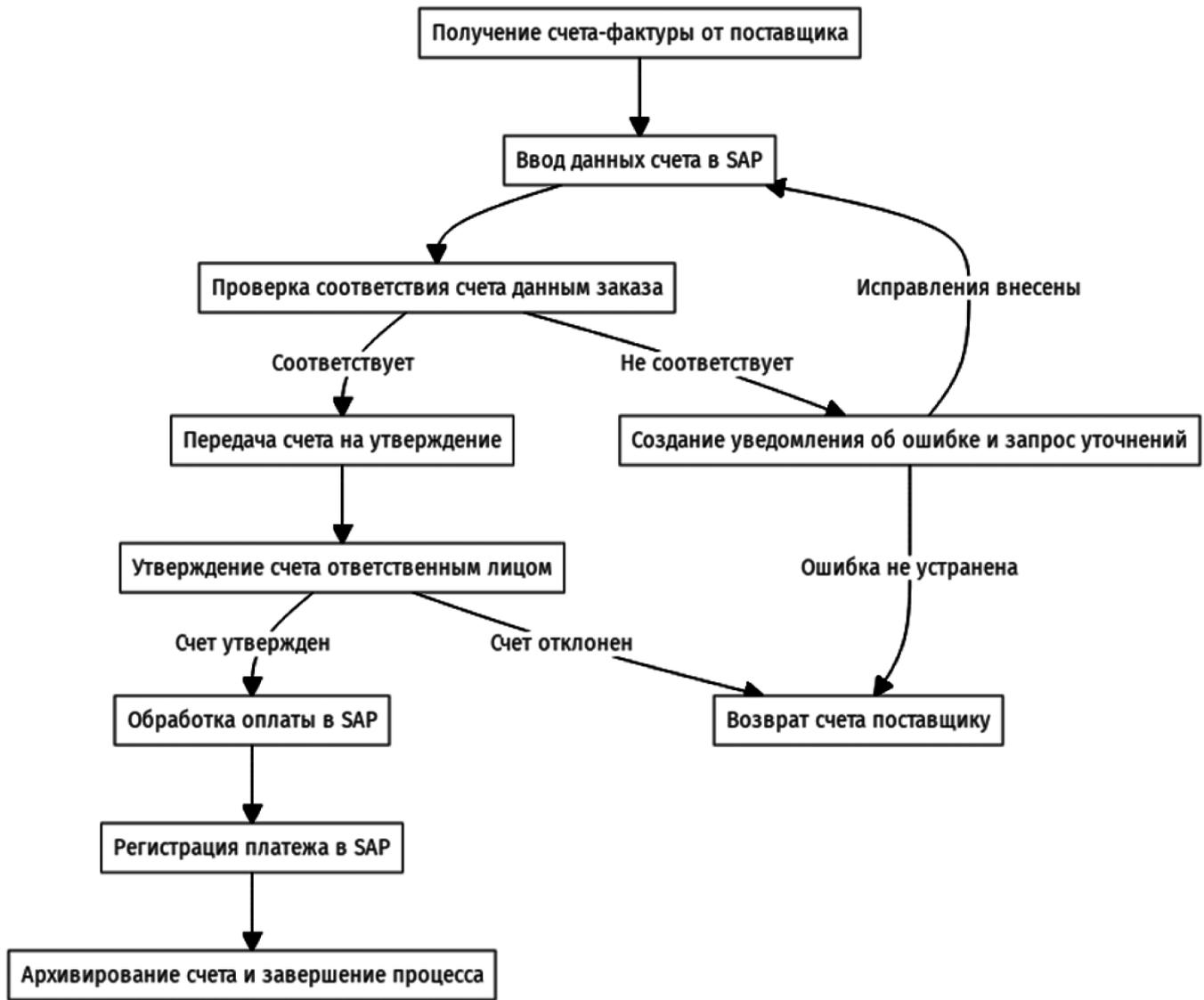


Рис. 1. Обработка счетов-фактур (Invoice-to-Pay)

Результаты анализа процесса обработки счетов-фактур подтверждают эффективность применения Process Mining для визуализации, анализа и оптимизации ключевых этапов финансового цикла. Каждый этап, начиная с получения счета-фактуры и заканчивая его архивированием, генерирует события, которые фиксируются в событийном логе. Это позволяет точно оценить временные затраты на выполнение каждого шага, а также выявить узкие места и аномалии, задержки в утверждении, несоответствия данных или дублирование операций. Благодаря детальной трансформации данных из ERP-систем в формат событийного лога, процесс представляется в виде структурированных данных, пригодных для анализа.

Методология исследования включала последовательное извлечение данных из таблиц, таких как счета, заказы и платежи. Процесс организован таким образом, чтобы минимизировать ошибки и обеспечить высокое

качество данных. Очистка и стандартизация данных способствовали устранению возможных неточностей. Преобразование в формат XES позволяет использовать современные инструменты Process Mining для дальнейшего анализа [14]. Применение алгоритмов кластеризации, таких как K-means и DBSCAN, обеспечивало возможность группировки транзакций и выделения нетипичных операций. Кластеризация данных позволила эффективно изолировать значимые события и сформировать предложения по оптимизации процессов, включая ускорение этапа согласования счетов и автоматизацию контроля.

Результаты и обсуждение

Использование событийного лога (event log) позволило визуализировать реальный ход финансовых процессов, выявляя узкие места и аномалии. Анализ обработки счетов-фактур показал, что применение Process

Mining позволяет сократить время обработки транзакций и повысить точность финансовой отчетности. Преимущества предложенного подхода к анализу финансовых данных

1. Глубокая визуализация: Процессный анализ обеспечивает наглядное представление о всех этапах обработки счетов-фактур, что способствует выявлению задержек на этапе утверждения и несоответствий между данными счета и заказами.
2. Точность: Благодаря более детальному анализу и выявлению аномалий, Process Mining способствует улучшению точности финансовой отчетности.
3. Выявление аномалий: В результате анализа обнаружены случаи дублирования счетов и необоснованного отклонения некоторых из них. Аномалии могут указывать на недостатки в процессах или потенциальные мошеннические действия.
4. Оптимизация процессов: На основе полученных данных могут быть предложены рекомендации по улучшению процессов, включая автоматизацию этапов проверки счетов и более строгий контроль за утверждением.

В процессе анализа выявлены различные аномалии, которые могут негативно влиять на эффективность обработки счетов-фактур. Таблица 1 представляет собой сводку основных типов аномалий, их описания, возможные причины возникновения и рекомендации по устранению.

Выявление и анализ аномалий в процессе обработки счетов-фактур позволяют организациям не только улучшить текущие финансовые процессы, но и разработать стратегии для предотвращения подобных проблем в будущем. Рекомендации по устранению аномалий могут значительно повысить эффективность управления финансами и снизить риски, связанные с ошибками и задержками в обработке транзакций.

Сравнение предложенного метода с традиционными подходами к анализу показало ряд преимуществ:

1. Полнота данных: Традиционные методы анализа часто основываются на выборочных данных или опросах, что может привести к неполной и искаженной интерпретации результатов. Process Mining использует полные события из системы, обеспечивая более точный анализ.
2. Интерактивная визуализация: В отличие от статичных графиков и таблиц, которые используются в традиционных методах, Process Mining предоставляет интерактивные визуализации процессов, что способствует более глубокому пониманию динамики операционных взаимодействий.
3. Автоматизация анализа: Традиционные методы анализа часто требуют значительных временных ресурсов для сбора и обработки данных. Process Mining позволяет проводить анализ в реальном времени, что дает возможность оперативно реагировать на изменения в бизнес-среде.
4. Идентификация проблем: Традиционные методы могут быть менее эффективны в выявлении скрытых проблем и аномалий. Process Mining автоматически идентифицирует аномалии в поведении процессов.

Использование Process Mining для анализа финансовых данных открывает новые возможности для оптимизации бизнес-процессов, повышения эффективности работы организаций и улучшения управления рисками.

Заключение

Применение алгоритмов кластеризации и фильтрации помогает обнаруживать аномалии в транзакциях, такие как дублирование счетов или несоответствия в данных, что способствует повышению контроля за финансовыми процессами. На основе полученных данных могут быть разработаны рекомендации по оптимизации бизнес-процессов, включая автоматизацию этапов проверки счетов и более строгий контроль за утверждением.

Таблица 1.

Аномалий в процессе обработки счетов-фактур

Тип аномалии	Описание	Возможные причины	Рекомендации по устранению
Задержки в обработке	Увеличенное время на этапе утверждения счета-фактуры.	Нехватка ресурсов, неэффективная коммуникация.	Оптимизация процесса согласования, автоматизация.
Несоответствия данных	Различия между суммой на счете и данными заказа.	Ошибки ввода данных, дублирование счетов.	Внедрение системы проверки данных перед утверждением.
Повторяющиеся транзакции	Транзакции с одинаковыми суммами и датами.	Ошибки в системе учета, недостаточный контроль за вводом.	Установление строгих процедур контроля за вводом данных.
Необоснованные отклонения	Частые изменения статусов счетов (например, из «утверждено» в «отклонено»).	Неполные данные или недостаток информации для принятия решений.	Улучшение внутренней документации и обучение сотрудников.

Перспективы дальнейших исследований в области Process Mining включают разработку новых методов, направленных на повышение точности и эффективности анализа. Также важным направлением является интеграция Process Mining с другими инструментами бизнес-аналитики для более комплексного анализа финансовых данных. Расширение применения методов Process Mining в других областях бизнеса, например управление цепочками поставок или операционная эффективность, также представляет собой значительный потенциал.

Улучшения текущего подхода к финансовому анализу могут включать повышение качества данных через разработку более эффективных методов очистки и под-

готовки данных для обеспечения их высокого качества перед анализом. Проведение обучающих программ для сотрудников по использованию инструментов Process Mining и интерпретации результатов анализа также является важным аспектом.

Интеграция Process Mining в анализ финансовых транзакций представляет собой мощный инструмент для повышения устойчивости бизнеса и улучшения управления финансами. Использование данного подхода открывает новые горизонты для оптимизации процессов, что является критически важным в условиях быстро меняющейся экономической среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Thiede M., Fuerstenau D., Bezerra Barquet A.P. How is process mining technology used by organizations? A systematic literature review of empirical studies // *Business Process Management Journal*. — 2018. — Т. 24. — №. 4. — С. 900–922.
2. Augusto A., Carmona J., Verbeek E. Advanced process discovery techniques // *Process mining handbook*. — Cham: Springer International Publishing, 2022. — С. 76–107.
3. Dumas, J.F., La Rosa, M.L., Mendling, J., Reijers, H.A. *Fundamentals of Business Process Management*. — Springer, 2013. — 400 p.
4. de Murillas E.G.L. Process mining on databases: extracting event data from real-life data sources. — 2019.
5. Apostolakis G. Operational Anomaly Detection Using Clustering Methods and Machine Learning Models. — 2024.
6. Carmona J. et al. *Conformance checking* // Switzerland: Springer. — 2018. — Т. 56. — С. 12.
7. Liu Y. A taxonomy of log preprocessing techniques in process mining. — 2024.
8. Komulainen O. Process mining benefits for organizations using ERP systems: дис. — O. Komulainen, 2017.
9. Al-Okaily M., Al-Okaily A. Financial data modeling: an analysis of factors influencing big data analytics-driven financial decision quality // *Journal of Modelling in Management*. — 2024.
10. Fikri N. et al. An adaptive and real-time based architecture for financial data integration // *Journal of Big Data*. — 2019. — Т. 6. — С. 1–25.
11. Kanungo T. et al. The analysis of a simple k-means clustering algorithm // *Proceedings of the sixteenth annual symposium on Computational geometry*. — 2000. — С. 100–109.
12. Kim Y. et al. Anomaly detection with the density based spatial clustering of applications with noise (DBSCAN) to detect potentially fraudulent wire transfers. — 2024.
13. Yang Y., Padmanabhan B. GHIC: A hierarchical pattern-based clustering algorithm for grouping Web transactions // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. — 2005. — Т. 17. — №. 9. — С. 1300–1304.
14. Vaithianathan S. A Comparative Study of Process Mining Software for Supporting Bottleneck Analysis of Production Systems. — 2021.

© Воробьев Владислав Викторович (vvlad1997@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕГУЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ МИКРОКЛИМАТА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

REGULATION OF THE MICROCLIMATE SYSTEM BASED ON FUZZY LOGIC

**M. Gordeev-Burgwitz
Al-Dumaini Omar Ahmed Khazai Shaif**

Summary. The organization of the indoor microclimate system implies the creation of optimal conditions in terms of temperature, humidity, air velocity (wind) and concentration of harmful substances. Comfortable indoor conditions are fundamental factors for maintaining human health. Automation of the processes of maintaining the microclimate in the room is organized by adjusting the temperature and humidity of the air. The implementation of these processes is possible with the use of IoT.

Keywords: fuzzy logic, microclimate, IoT, microclimate automation, architecture.

Гордеев-Бургвиц Михаил Алексеевич

Доктор-инженер по классификации ФРГ, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)
dr.gordeev@mail.ru

Аль-Думайни Омар Ахмед Хазаеа Шаиф

Аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)
aomar3909@gmail.com

Аннотация. Организация системы микроклимата в помещении, понимает под собой создание оптимальных условий в отношении температуры, влажности, скорости перемещения воздуха (ветра) и концентрации вредных веществ. Комфортные условия в помещениях являются основополагающими факторами для сохранения здоровья человека. Автоматизация процессов поддержания микроклимата в помещении организуется за счет регулирования температуры и влажности воздуха. Реализация данных процессов возможна при применении IoT.

Ключевые слова: нечеткая логика, микроклимат, IoT, автоматизация микроклимата, архитектура.

Введение

Микроклимат в помещении является основополагающим фактором здоровой жизни и определяется многими физическими аспектами, такими как температура, влажность, концентрация вредных веществ и скорость движения воздуха (ветра). Регуляция процессов поддержания оптимального микроклимата помещений может быть основана на нечёткой логике. Нечёткая логика была разработана в 1965 году Лотфи А. Заде, профессором компьютерных наук Калифорнийского университета в Беркли [4, с. 95]. По сути, нечёткая логика — это многозначная логика, которая позволяет определять промежуточные значения между обычными оценками, такими как истина/ложь, да/нет, высокое/низкое и т.д. Такие понятия, как «довольно высокий» или «очень быстрый», могут быть сформулированы математически и обработаны компьютерами, что позволяет применять при программировании способ мышления, более близкий человеческому [5, с. 27].

Нечёткие системы являются альтернативой традиционным представлениям о принадлежности множеств и логике, которые берут своё начало в древнегреческой философии. Точность математики во многом обязана своим успехом усилиям Аристотеля и предшествовавших ему философов. В своих попытках разработать ла-

коничную теорию логики, а позднее и математики, они сформулировали так называемые «законы мышления» [3, с. 415]. Один из них, «закон исключённого третьего», гласит, что каждое утверждение должно быть либо истинным, либо ложным. Нечёткая логика зарекомендовала себя как эффективный инструмент для контроля и управления системами и сложными промышленными процессами, а также в бытовой и развлекательной электронике и других экспертных системах и приложениях. Нечёткая система — это система, особенностью описания которой является нечёткая спецификация параметров; нечёткое описание входных и выходных переменных системы; нечёткое описание функционирования системы на основе продукционных «если...то...» правил [2, с. 349]. На современном этапе развития технологий нечёткая логика получила распространение в качестве инструмента различных методов интеллектуального анализа данных. Например, этот инструмент активно используется при обработке баз данных с помощью нечётких запросов; при проведении нечётких транзакций и ассоциативных правил; при формировании нечётких когнитивных карт, с помощью которых можно моделировать условия функционирования предприятия [1].

Цель статьи: рассмотреть вопрос организации системы поддержания микроклимата в помещении на основании нечёткой логики.

Для поддержания заданного уровня микроклимата и качества воздуха в помещении необходимо разработать систему регулирования с экономичным потреблением энергии для заданных условий эксплуатации. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха состоят из нескольких подсистем, каждая из которых может иметь нелинейные характеристики, изменяющиеся во времени. Более того, параметры динамического состояния обычно меняются в зависимости от погодных условий и возмущений. Использование традиционных схем управления для таких технологий и систем с большим количеством настраиваемых параметров оказалось неэффективным.

Нечёткое логическое управление позволяет устранить многие недостатки регулирования и основано на использовании стандартных передаточных функций. Алгоритм управления на основе нечёткой логики может быть получен в результате анализа процесса, используемого для поддержания заданной температуры в помещении, и оптимизирован путём изменения режима работы. Благодаря этой системе достигаются многочисленные преимущества, в том числе мощная защита от помех, более быстрое реагирование и высокая надёжность работы.

Учитывая как преимущества, так и недостатки, управление на основе нечёткой логики является адекватной альтернативой. Одним из основных преимуществ таких систем является простота внедрения без необходимости изменения структуры системы управления. По сравнению с традиционными методами автоматического управления, применение нечётких систем позволяет быстро анализировать данные и получать результаты с высоким уровнем точности. Характерной особенностью методов решения задач нечёткой логики является наличие набора правил, состоящих из совокупности условий и выводов. Методы нечёткого управления в настоящее время являются одним из важнейших этапов в разработке интеллектуальных технологий для создания высокоорганизованных систем управления.

В частности, нечёткая система управления обладает низкой чувствительностью к изменениям параметров управляемого объекта. Синтез систем управления с использованием нечёткой логики при применении современной аппаратной и программной поддержки позволяет организовать этот процесс проще, чем синтез традиционных систем.

Помимо организации системы микроклимата, необходимо включить в анализ не только управление температурным режимом воздуха, в частности нагрева и охлаждения, но и вентиляцию и увлажнение, что обеспечивается за счёт датчиков (температуры, влажности и пр.), нечёткого контроллера, зон управления и систем

подачи, например притока и отвода воздуха. Общая структура может быть наглядно представлена в виде такой схемы (рис. 1).

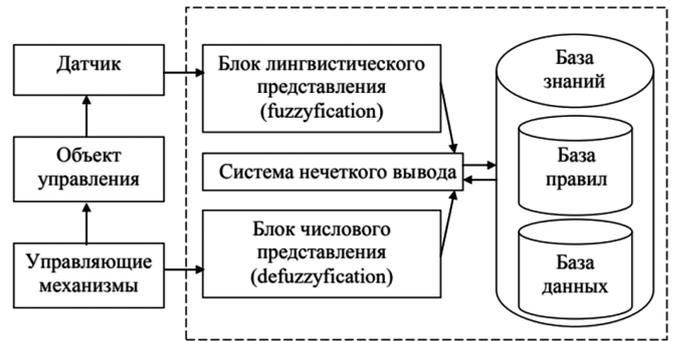


Рис. 1. Структура нечеткой системы управления

Эта система была разработана для контроля микроклимата в помещении, а также для повышения или понижения температуры и относительной влажности.

Архитектура системы включает базовую станцию, которая располагается в помещении и привязана к личному профилю пользователя в облаке. Процессор базовой станции определяет настройки вентилятора, кондиционера и других исполнительных механизмов. На основе предпочтений пользователя формируются команды с учётом данных с периферийных датчиков, расположенных в помещении. Они взаимодействуют с базовой станцией через радиочастотный канал. Исполнительные механизмы базовой станции, также работающие через радиочастотный канал, оборудованы для связи с внешними устройствами через ИК-модуль. Данный ИК-модуль, являющийся периферийным устройством, взаимодействует с базовой станцией через радиочастотный канал. Интернет-канал связи — Wi-Fi, 3G или другие типы сетей — используется для подключения серверной и клиентской части системы. На рисунке 2 показана архитектура предлагаемой системы.

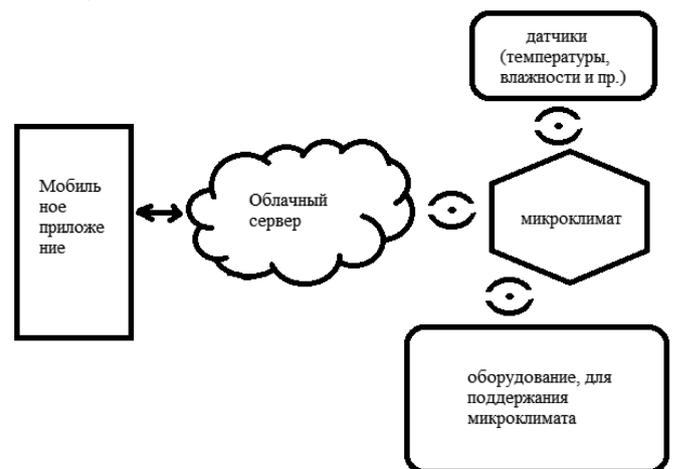


Рис. 2. Архитектура системы

На облачном сервере все параметры микроклимата, информация об архитектуре системы и состоянии всех

исполнительных механизмов отображаются в личном профиле пользователя. Собранные данные немедленно анализируются и отслеживаются корреляции для обучения вычислительных алгоритмов.

Управление с помощью смартфона осуществляется косвенно через серверную часть по всей цепочке: интерфейс — Интернет — серверная часть — Интернет — Wi-Fi — радиочастотный сигнал.

Чтобы продемонстрировать работу нечёткого контроллера, мы использовали динамическую модель здания. Мы исследовали изменение внутренней и внешней температуры системы контроля микроклимата помещения, используя переходные характеристики системы при ступенчатом изменении температуры (шаг — 6 °С) в заданном диапазоне (регулятор целевой температуры 24–30 °С) с изменением времени с шагом в 500 секунд. Время установления системы относительно невелико ($\pm 10\%$ от конечного значения при 30 °С). Когда температура снаружи опускается ниже 30 °С, начинает проявляться статическая ошибка. Эти зависимости показывают, насколько хорошо система поддерживает целевую температуру.

Однофазные счётчики электроэнергии предназначены для прямого подключения к сети переменного тока частотой от 50 до 60 Гц. Счётчики также могут использоваться в автоматизированных системах управления и при распределении электроэнергии. С помощью всех этих устройств и описанных принципов был разработан прототип системы микроклимата. Функциональная схема экспериментальной установки, используемой для системы микроклимата, позволяет также изучать регулирование с помощью нечёткой логики в лабораторных условиях. При этом на физической модели помещения отслеживаются функциональные возможности нечёткого контроллера (микропроцессорный блок управления), датчиков температуры и влажности помещения, как

внешних, так и внутренних показателей, обогревателя и кондиционера, парового увлажнителя и центрального блока управления, установленного на персональном компьютере.

Физическая модель представляет собой пространство, частично изолированное от окружающей среды (размер помещения 6 м × 3 м × 2,5 м) и включает в себя датчики температуры, датчики влажности и исполнительные механизмы: обогреватель (с двумя режимами работы: первый — 1000 Вт, второй — 2000 Вт), увлажнитель воздуха и кондиционер с четырьмя режимами по 500 Вт каждый, а также систему вентиляции. Датчики и исполнительные механизмы расположены в физической модели таким образом, чтобы обеспечить наименьшее количество помех в контуре управления во время работы системы.

В данном исследовании демонстрируется, что достижение оптимальных показателей температуры, влажности и чистоты воздуха в помещении может быть реализовано на основе интегрированного подхода, который объединяет различные методы, направленные на решение проблем. Система «умный дом» играет ключевую роль в этом процессе. Новый метод управления температурой с низким энергопотреблением разработан для эффективной работы в условиях неопределённости и поиска оптимальных режимов работы тепловых систем, что способствует экономии энергии. Также разработка инновационных структур автоматизированных систем энергосбережения для помещений обеспечивает эффективное управление в условиях применения нечёткой логики.

Средства контроля климата внутри помещения, а также панели управления, переключатели, датчики и другие аппараты работают в автоматическом режиме без участия человека, обеспечивая поддержание оптимальных показателей для конкретного помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коханова В.С. Аппарат нечеткой логики как инструмент оценки эффективности цифровизации компании // Вестник ГГУ. 2021. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/apparat-nechetkoj-logiki-kak-instrument-otsenki-effektivnosti-tsifrovizatsii-kompanii> (дата обращения: 14.11.2024).
2. Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях. Изд-во ТГУ, 2008. — 349 с.
3. Korner S. Laws of thought // Encyclopedia of Philosophy, Vol. 4, MacMillan, NY: 1967, pp. 414–417.
4. Zadeh L.A. Fuzzy algorithms // Info. & Ctl., Vol. 12, 1968, pp. 94–102.
5. Zadeh L.A. Making computers think like people // IEEE. Spectrum, 8/1984, pp. 26–32.

© Гордеев-Бургвиц Михаил Алексеевич (dr.gordeev@mail.ru); Аль-Думайни Омар Ахмед Хазаеа Шаиф (aomar3909@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ СЕТИ ТИПА ТРАНСФОРМЕР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ НА ВИДЕОРЯДАХ С КАМЕР ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ

Гультяев Андрей Андреевич

Аспирант, Национальный Исследовательский
Ядерный Университет «МИФИ»
angultiaev@gmail.com

HIERARCHIAL TRANSFORMER NETWORKS FOR ANOMALY DETECTION IN SURVEILLANCE VIDEOS

A. Gultiaev

Summary. This paper presents a novel approach for anomaly detection in surveillance videos using hierarchical transformer networks without relying on convolutional neural networks. We leverage Video Vision Transformers (ViViT) combined with contrastive learning to extract meaningful embeddings from video segments. To handle variable-length video clips, we introduce a hierarchical transformer architecture that captures both segment-level and event-level representations. Trained on the DCSASS dataset, our method demonstrates significant improvements in classification, clustering, and anomaly detection tasks compared to traditional approaches. Our results indicate that the proposed model can effectively assist surveillance operators in detecting abnormal activities, thereby enhancing security measures.

Keywords: machine learning, artificial intelligence, computer vision, neural network, transformer, contrastive learning, vector embedding, classification, clustering, anomaly detection.

Аннотация. В статье представлен новый подход к обнаружению аномалий на видеозаписях с камер видеонаблюдения с использованием иерархических нейронных сетей типа Transformer без использования сверточных нейронных сетей. Для извлечения векторных представлений из видеосегментов использована архитектура Video Vision Transformer (ViViT) в сочетании с подходом к обучению, называемым контрастным обучением. Для работы с видеозаписями переменной длины введена иерархическая архитектура сетей Transformer, которая получает представления как на уровне сегментов видео, так и на уровне событий. Обученный на наборе данных DCSASS, метод демонстрирует значительное улучшение в задачах классификации, кластеризации и обнаружения аномалий по сравнению с традиционными подходами. Результаты показывают, что предложенная модель может эффективно помочь операторам видеонаблюдения в обнаружении аномальных действий, тем самым повышая эффективность мер безопасности.

Ключевые слова: машинное обучение, искусственный интеллект, компьютерное зрение, нейронная сеть, трансформер, контрастное обучение, векторное представление, классификация, кластеризация, обнаружение аномалий.

Введение

Системы видеонаблюдения играют важнейшую роль в обеспечении безопасности в общественных местах. С увеличением количества камер видеонаблюдения, ручное наблюдение операторами стало менее эффективным. Автоматизированный анализ записей с камер наблюдения необходим для своевременного обнаружения аномальных действий, таких как насилие, ограбления и другие виды девиантного поведения. Традиционные методы интеллектуальной обработки видеозаписей часто опираются на сверточные нейронные сети для извлечения пространственных характеристик, однако такие сети могут испытывать трудности с улавливанием дальних временных зависимостей на видео. Помимо этого, вычислительная мощность, необходимая для быстрой работы сверточных сетей увеличивается экспоненциально с ростом размера таких сетей.

В данной статье предлагается новая архитектура, использующая иерархические сети типа Transformer для обнаружения аномалий на видеозаписях с камер наблюдения без использования сверточных сетей. Под-

ход использует возможности архитектуры Video Vision Transformer (ViViT) а также одного из подходов к самоконтролируемому обучению (self-supervised learning), называемому контрастным обучением для извлечения надежных векторных представлений из видеоданных, которые затем могут быть использованы в классических моделях для решения различных задач, таких как классификация, кластеризация и распознавание аномалий. Благодаря внедрению иерархической структуры была модель эффективно работает с видеозаписями переменной длины, позволяя улавливать как локальные, так и глобальные временные закономерности.

Разработанная архитектура иерархической нейронной сети типа Transformer обрабатывает видеофрагменты и объединяет их в векторные представления на уровне событий. Для обучения дискриминативным векторным представлениям используется контрастное обучение на уровне сегментов и событий без необходимости использования размеченных данных.

Эффективность данного подхода демонстрируется на реальных наборах данных, полученных с камер ви-

деонаблюдения, а результаты показывают значительное улучшение производительности и качества в задачах классификации, кластеризации и обнаружения аномалий.

Литературный обзор

Обнаружение аномалий на видеозаписях широко изучалось, причем методы варьировались от традиционных методов машинного обучения, таких как логистическая регрессия до моделей глубокого обучения, таких как трехмерные сверточные нейронные сети. В ранних подходах для выявления отклонений от нормального поведения использовались созданные вручную признаки и статистические модели [1]. С развитием технологий глубокого обучения сверточные нейронные сети стали доминирующим инструментом для выделения признаков при анализе видео [2]. Однако такие сети ограничены в улавливании долгосрочных временных зависимостей из-за присущего им фокуса на локальных пространственных шаблонах.

Нейронные сети типа Transformer исторически использовались для обработки естественного языка и получения представлений для текстовых данных [3], с целью решения таких задач как классификация, генерация и сегментирование текстов. Тем не менее, архитектура Transformer продемонстрировала большой потенциал и в задачах компьютерного зрения [4]. Модель Video Vision Transformer (ViViT) [5] расширяет модель Vision Transformer (ViT), предложенную для обработки статических изображений, на видеоданные, позволяя моделировать пространственно-временные характеристики без использования сверток. В последних работах трансформеры были использованы для распознавания действий и «понимания» видео, продемонстрировав свою способность улавливать глобальный контекст.

Контрастное обучение — это парадигма самоконтролируемого обучения, которая обучается возвращать векторные представления, различая похожие и непохожие пары объектов [6]. Такие методы, как SimCLR [7] и MoCo [8], достигли значительных результатов в получении векторных представлений для изображений. В анализе видео контрастное обучение позволяет получать надежные векторные представления, используя временную согласованность и аугментацию данных [9].

Материалы и методы

Сети Transformer используют механизмы самовнимания (англ. self-attention) для оценки значимости различных частей входных данных [3]. Это позволяет модели улавливать дальние зависимости, что очень важно для понимания временных закономерностей в данных, представленных в виде последовательностей.

Контрастное обучение направлено на получение векторных представлений путем противопоставления «положительных» и «отрицательных» образцов [6]. Добиваясь максимального согласия между различными измененными представлениями одной и той же точки данных, модель обучается инвариантным характеристикам, которые хорошо обобщаются для последующих задач.

Предлагаемый фреймворк состоит из двух основных компонентов:

1. компонент извлечения векторных представлений на уровне сегментов. На уровне сегментов используется архитектура ViViT с контрастным обучением для получения векторов из видеосегментов фиксированной длины;
2. компонент объединения сегментов на уровне событий. Иерархическая сеть Transformer объединяет сегментные векторы в комплексное векторное представление на уровне событий, тем самым обрабатывая видеозаписи переменной длины.

ViViT обрабатывает видеоданные, рассматривая их как последовательность участков изображений, извлеченных из кадров видео. Он моделирует пространственные и временные размеры с помощью механизмов внимания. Для данной модели применяется позиционное кодирование (англ. positional encoding) для сохранения временного порядка, а размерность результирующего векторного представления равна 1024.

Для контрастного обучения используется нормализованная функция потерь перекрестной энтропии с учетом температуры (NT-Xent Loss) [7]. Генерируя положительные пары с помощью изменения исходных данных (путем обрезки, изменения разрешения, зашумления, поворота изображения) и рассматривая другие образцы как отрицательные, модель обучается «приближать» похожие векторные представления друг к другу, и «отдалять» непохожие в признаковом пространстве.

Видеофрагменты переменной длины представляют собой проблему для моделей, оперирующих данными фиксированного размера. Эту проблема решается путем внедрения архитектуры иерархического трансформера.

Трансформер на уровне сегментов обрабатывает сегменты фиксированной длины (16 кадров) и возвращает векторные представления сегментов. Трансформер уровня событий агрегирует полученные представления сегментов для формирования векторов на уровне событий, фиксируя глобальные временные зависимости. Такой иерархический подход позволяет модели обрабатывать события различной длительности без потери важной информации.

Предварительное обучение модели ViViT на сегментном уровне проводилось на наборе данных DCSASS

[10], содержащем видеозаписи с камер видеонаблюдения с девиантным поведением. Обучение проводилось на четырех графических ускорителях NVIDIA A100 в течение 120 часов. После этого проведено обучение модели уровня событий, которое заняло около 200 часов.

Результаты

Использованные наборы данных:

1. набор данных DCSASS [10]: набор данных с камер видеонаблюдения с различными аномальными событиями, такими как ограбления, насильственные действия и девиантное поведение;
2. набор данных ShanghaiTech Campus [11]: содержит записи видеонаблюдения из кампуса шанхайского технического университета, размеченные на «нормальные» и «абнормальные».

Использованные метрики для оценки:

1. задача многоклассовой классификации: Precision, Recall и F1-score с макро-усреднением по классам;
2. задача кластеризации: коэффициент силуэта (silhouette);
3. задача обнаружения аномалий (сводится к задаче бинарной классификации): Precision, Recall и F1-score, с акцентом на метрику Recall.

Экспериментальная установка:

1. оборудование: четыре графических ускорителя NVIDIA A100 (40GB).
2. программное обеспечение: фреймворк PyTorch для программной реализации и обучения моделей.

Гиперпараметры:

1. размер получаемого векторного представления: 1024;
2. количество слоев в модели уровня сегментов: 12;
3. количество модулей внимания в модели уровня сегментов: 16;
4. количество слоев в модели уровня событий: 4;
5. количество слоев в модели уровня событий: 8;
6. размер партии обучения: 16.

Обсуждение

Использование метода кластеризации K-средних (K-Means) для векторных представлений на уровне событий показали метрику силуэта в районе 0.69 для двух кластеров. При постепенном увеличении количества кластеров до 15, метрика падает до значения 0.44. Ручная проверка подтвердила, что кластеры представляют собой значимые группы, которые можно описать как «нормальное поведение», «ограбления» и «аресты» и т.д. Высокие показатели метрики силуэта свидетельствуют о четко определенных кластерах, что подтверждает качество полученных векторных представлений.

Для решения задачи классификации необходима тонкая настройка модели (fine-tuning). После обучения классификатора для решения задачи многоклассовой классификации получены следующие метрики:

- Macro Precision: 0,71–0,76.
- Macro Recall: 0.79–0.84.
- Макро F1-score: 0,74–0,80.

ROC-кривые, построенные для каждого класса также продемонстрировали способность модели качественно отделять объекты одного класса от других, а высокие показатели метрики recall особенно важны для минимизации количества пропущенных аномальных событий.

Задача обнаружения аномалий в данном контексте сводится к задаче бинарной классификации видеорядов на «нормальные» и «аномальные». После процедуры тонкой настройки и обучения классификатора получены следующие метрики:

- Precision: 0.76–0.79.
- Recall: 0.86–0.89.
- F1-score: 0,81–0,85.

Акцент на метрике Recall соответствует цели снижения количества ложноотрицательных результатов, что гарантирует обнаружение большинства аномалий. Результаты показывают, что модель эффективно выявляет аномальные события среди большого потока нормальных.

Предложенная архитектура иерархического трансформера успешно улавливает как локальные, так и глобальные временные зависимости, не опираясь на использование сверточных нейронных сетей. Использование контрастного обучения повышает дискриминативную способность векторных представлений. Устойчивая производительность в различных задачах демонстрирует универсальность предложенного метода.

Заключение

В данной статье представлена иерархическая архитектура на основе нейронных сетей типа Transformer, которая служит для обнаружения аномалий в видеозаписях с камер наблюдения. Представленная система работает без использования сверточных нейронных сетей, что делает ее более вычислительно эффективной и производительной. Архитектура эффективно справляется с видеоклипами переменной длины и демонстрирует высокую производительность в задачах классификации, кластеризации и обнаружения аномалий.

Предлагаемая система может помочь операторам видеонаблюдения, автоматически обнаруживать аномальные действия, снижая когнитивную нагрузку и вероятность человеческой ошибки. Благодаря оповещению об обнаруженных аномалиях в реальном времени

сотрудники служб безопасности могут быстрее реагировать на инциденты, что позволяет предотвратить нанесение вреда или ущерба.

Автоматизированный анализ позволяет одновременно контролировать большее количество камер без привлечения дополнительных человеческих ресурсов, что повышает эффективность наблюдения и положительно сказывается на общественной безопасности.

В качестве дальнейшей работы можно выделить пути интеграции предложенной системы в существующие программные комплексы для видеонаблюдения, а также оптимизация предложенной системы для улучшения ее производительности и сокращения времени ее обучения.

Также стоит отметить необходимость тестирования работоспособности системы и на других данных, полученных из различных сред, в которых ведется видеонаблюдение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adam A. et al. Robust real-time unusual event detection using multiple fixed-location monitors // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. — 2008. — Т. 30. — №. 3. — С. 555–560.
2. Simonyan K., Zisserman A. Two-stream convolutional networks for action recognition in videos // Advances in neural information processing systems. — 2014. — Т. 27.
3. Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., et al. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.
4. Dosovitskiy A. An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale // arXiv preprint arXiv:2010.11929. — 2020.
5. Arnab A. et al. Vivit: A video vision transformer // Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. — 2021. — С. 6836–6846.
6. Hadsell R., Chopra S., LeCun Y. Dimensionality reduction by learning an invariant mapping // 2006 IEEE computer society conference on computer vision and pattern recognition (CVPR'06). — IEEE, 2006. — Т. 2. — С. 1735–1742.
7. Chen T. et al. A simple framework for contrastive learning of visual representations // International conference on machine learning. — PMLR, 2020. — С. 1597–1607.
8. He K. et al. Momentum contrast for unsupervised visual representation learning // Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. — 2020. — С. 9729–9738.
9. Qian R. et al. Spatiotemporal contrastive video representation learning // Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition. — 2021. — С. 6964–6974.
10. DCSASS Dataset [Электронный ресурс] // Kaggle. URL: <https://www.kaggle.com/datasets/mateohervas/dcsass-dataset> (дата обращения 04.10.2024).
11. Luo W., Liu W., Gao S. A revisit of sparse coding based anomaly detection in stacked rnn framework // Proceedings of the IEEE international conference on computer vision. — 2017. — С. 341–349.

© Гулятьев Андрей Андреевич (angultiaev@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ДВУХЭТАПНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОИСК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ COLBERT

TWO-STEP INFORMATION RETRIEVAL USING COLBERT

**O. Maksimenko
Yu. Boronina**

Summary. The article discusses the implementation of information search using both well-known ranking algorithms and language models. The goal is to improve the search quality by using a language model. One of them, ColBERT, is a fast and accurate search model that provides scalable BERT-based search in large text collections in tens of milliseconds. The model was trained on test data, and then it was tested using metrics used to evaluate search quality.

Keywords: data, language model, information search, digitalization, ranking.

Максименко Олег Евгеньевич
Аспирант, НИЯУ МИФИ, Москва
skipperprivate@yandex.ru
Боронина Юлия Сергеевна
Аспирант, НИЯУ МИФИ, Москва
Borona05@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается реализация информационного поиска с использованием как общеизвестных алгоритмов ранжирования, так и языковых моделей. Цель — повысить качество поиска за счет использования языковой модели. Одна из них, ColBERT — это быстрая и точная поисковая модель, обеспечивающая масштабируемый поиск на основе BERT в больших текстовых коллекциях за десятки миллисекунд. Были проведены обучение модели на тестовых данных, а затем она была протестирована с использованием метрик, применяемых при оценке качества поиска.

Ключевые слова: данные, языковая модель, информационный поиск, цифровизация, ранжирование.

Введение

Поиск информации всегда в наше время стал важной частью жизни любого человека в связи с бурным развитием средств связи и коммуникации. Интернет позволяет получить доступ к огромному объему информации, размещенной на различных ресурсах. Однако процесс их нахождения по имеющемуся у пользователя запросу — это нетривиальный процесс, учитывая тот факт, что запрос пишется на естественном языке, зачастую без соблюдения какой-либо четкой структуры и правил. Этот процесс называется информационным поиском. Можно утверждать, что информационный поиск — это процесс поиска в большой коллекции некоего неструктурированного материала, удовлетворяющего информационные потребности [1]. Качество поиска оценивается релевантностью полученных документов на запрос пользователя. Актуальность исследования состоит в удовлетворении потребностей пользователей в повышении точности поиска.

Реализация может быть произведена самыми различными способами, начиная с функций ранжирования и заканчивая большими языковыми моделями. Программу или совокупность программ, позволяющих пользователю получить доступ к необходимой информации, называется поисковым движком или поисковой системой.

Чтобы согласовать эффективность и контекстуализацию в IR, мы предлагаем ColBERT, модель ранжирования,

основанную на контекстуализированном позднем взаимодействии с BERT. Как следует из названия, ColBERT предлагает новую парадигму позднего взаимодействия для оценки релевантности запроса q и документа d . При позднем взаимодействии q и d отдельно кодируются в два набора контекстуальных вложений, а релевантность оценивается с помощью дешевых и удобных для сокращения вычислений между обоими наборами, то есть быстрых вычислений, которые позволяют ранжировать без исчерпывающей оценки каждого возможного кандидата.[7]

Литературный обзор

Книга «Введение в информационный поиск» представляет собой введение в область информационного поиска и охватывает основные концепции и методы, используемые для поиска информации в больших объемах данных. Она может быть полезна для исследователей и специалистов, работающих в области информационного поиска, а также для студентов, изучающих эту тему.

Статья Витухновской А.А. посвящена обучению технологиям и стратегиям информационного поиска. Автор рассматривает дифференциальные признаки информационно-поисковых систем и их роль в обучении информационному поиску. Статья может быть полезна исследователям и специалистам, работающим в области информационного поиска, а также преподавателям и студентам, изучающим эту тему.

Информационный поиск актуален в современном мире по нескольким причинам:

Быстрый доступ к информации. В эпоху цифровизации информация обновляется и растёт с невероятной скоростью. Информационный поиск помогает быстро находить актуальные данные, новости, исследования и другие материалы.

Принятие обоснованных решений. Информационный поиск позволяет получать достоверные и разнообразные источники информации, что способствует принятию более обоснованных и информированных решений в различных областях деятельности.

Образование и саморазвитие. Благодаря информационному поиску люди могут получать доступ к образовательным ресурсам, научным публикациям, онлайн-курсам и другим материалам для обучения и развития.[6]

Профессиональная деятельность. Специалисты в разных областях используют информационный поиск для нахождения новых идей, методов работы, исследований и других материалов, которые помогают им развиваться профессионально и повышать качество своей работы.

Материалы и методы

Перед первым этапом ранжирования текстовые документы и текстовые запросы проходят предварительную обработку. Она заключается в отсеивании данных, мало значимых для поиска (знаки препинания, числа и т.д). Далее текст подвергается стеммингу, приходя таким образом в вид, пригодный для дальнейшей работы.[5]

Вторым этапом идет ранжирование с помощью семейства функций BM25. Существует несколько подвидов этой функции — на основе метрики Precision была выбрана BM25L. В результате работы функции отбирается топ N документов, соответствующих запросу.[9]

Заключительный этап ранжирования проходит с использованием модели ColBERT. Она работает на ограниченном наборе из уже N отсортированных документов по каждому из запросов.

В качестве датасет был использован CISI, в котором данные были собраны Центром изобретений и научной информации («CISI») и состоят из текстовых данных о 1460 документах и 112 связанных с ними запросах. Его назначение — использовать для построения моделей поиска информации, в которых данный запрос возвращает список документов, имеющих отношение к запросу. Файл «CISI.REL» содержит правильный список (т.е. «золотой стандарт» или «обоснование») соответствия запроса документу, и вашу модель можно сравнить с этим «золо-

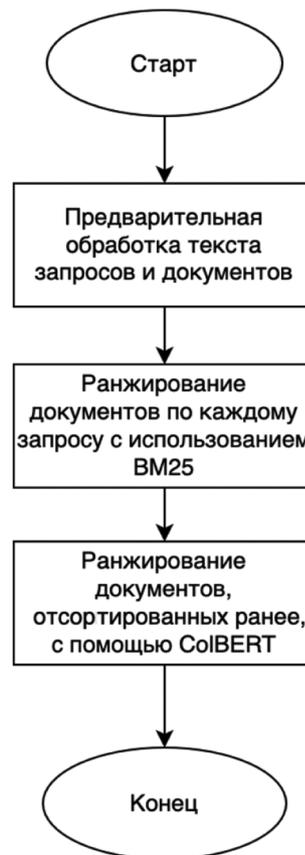


Рис. 1. Алгоритм

тым стандартом», чтобы увидеть, как она работает. Файл CISI.ALL состоит из 1460 «документов», каждый из которых имеет уникальный идентификатор (.I), название (.T), автора (.A), аннотацию (.W) и список перекрестных ссылок на другие документы (.X). Это набор данных для обучения моделей при использовании в сочетании с запросами (CISI.QRY). В CISI.QRY содержатся 112 запросов, каждый из которых имеет уникальный идентификатор (.I) и текст запроса (.W). CISI.REL содержит сопоставление идентификатора запроса (столбец 0) с идентификатором документа (столбец 1). Запрос может быть сопоставлен нескольким идентификаторам документа. Этот файл содержит «основную информацию», которая связывает запросы с документами, которая используется для обучения и тестирования алгоритма.

Результаты

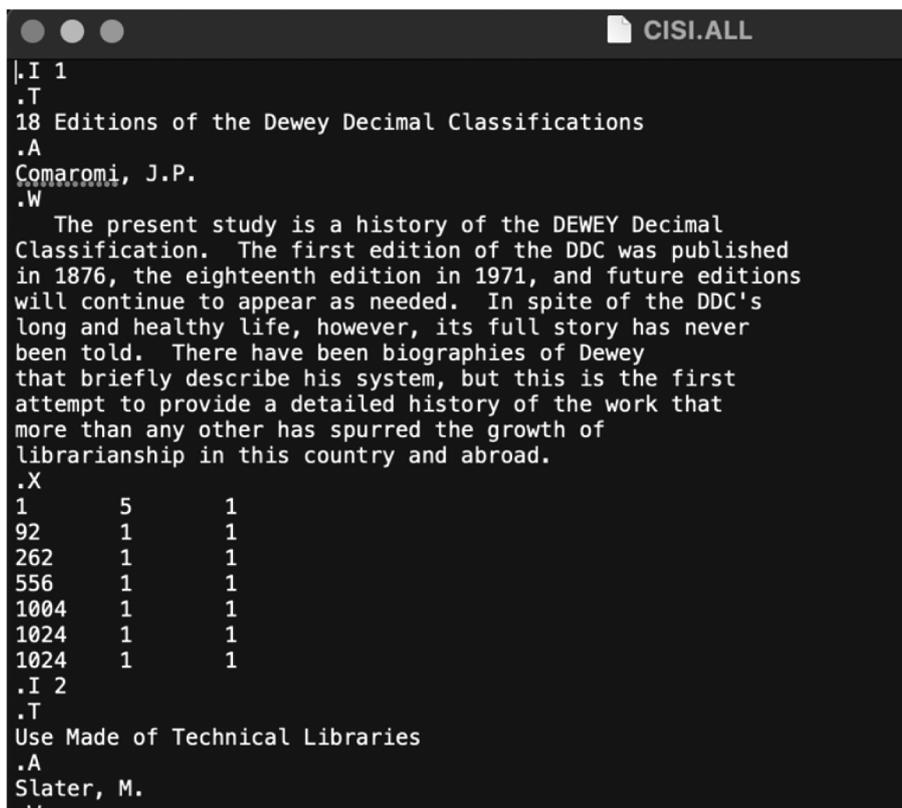
Первый этап ранжирования

Для первого этапа ранжирования выбрано семейство функций BM25 [3].

Таблица 1.

Результаты первого этапа ранжирования

Функция	BM25	BM25+	BM25L
Precision	0.4	0.43	0.44

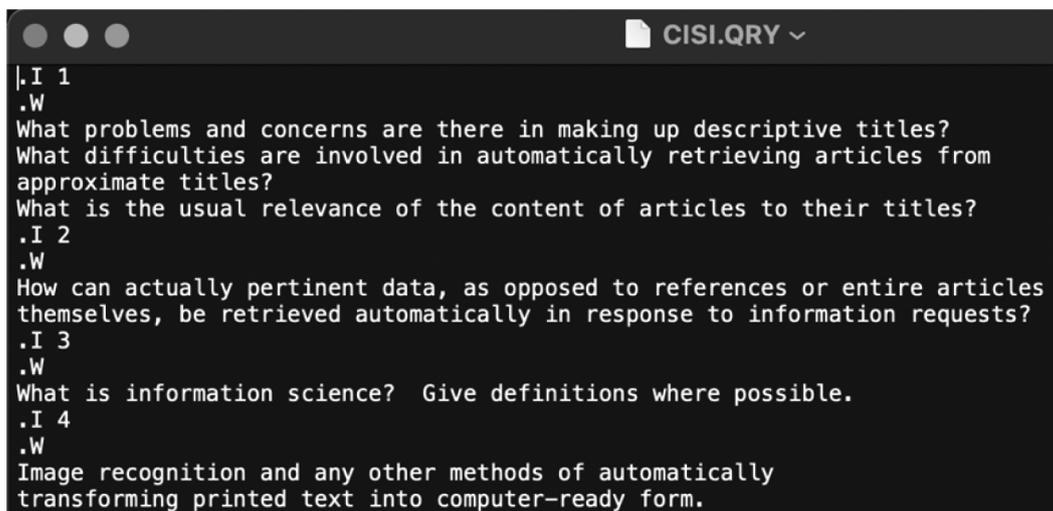


```

CISI.ALL
|.I 1
.T
18 Editions of the Dewey Decimal Classifications
.A
Comaromi, J.P.
.W
The present study is a history of the DEWEY Decimal
Classification. The first edition of the DDC was published
in 1876, the eighteenth edition in 1971, and future editions
will continue to appear as needed. In spite of the DDC's
long and healthy life, however, its full story has never
been told. There have been biographies of Dewey
that briefly describe his system, but this is the first
attempt to provide a detailed history of the work that
more than any other has spurred the growth of
librarianship in this country and abroad.
.X
1          5          1
92         1          1
262        1          1
556        1          1
1004       1          1
1024       1          1
1024       1          1
.I 2
.T
Use Made of Technical Libraries
.A
Slater, M.
.W

```

Рис. 2. Файл CISI.ALL

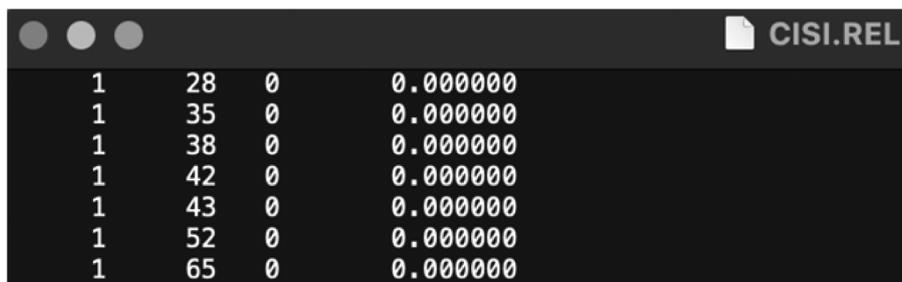


```

CISI.QRY
|.I 1
.W
What problems and concerns are there in making up descriptive titles?
What difficulties are involved in automatically retrieving articles from
approximate titles?
What is the usual relevance of the content of articles to their titles?
.I 2
.W
How can actually pertinent data, as opposed to references or entire articles
themselves, be retrieved automatically in response to information requests?
.I 3
.W
What is information science? Give definitions where possible.
.I 4
.W
Image recognition and any other methods of automatically
transforming printed text into computer-ready form.

```

Рис. 3. Файл CISI.QRY



```

CISI.REL
1      28      0      0.000000
1      35      0      0.000000
1      38      0      0.000000
1      42      0      0.000000
1      43      0      0.000000
1      52      0      0.000000
1      65      0      0.000000

```

Рис. 4. Файл CISI.REL

Второй этап ранжирования

Для следующего этапа ранжирования была выбрана модель ColBERTv2. Она полагается на детальное контекстуальное взаимодействие в конце: он кодирует каждый фрагмент в матрицу вложений на уровне токенов (показано выше синим цветом) [4]. Затем во время поиска он вставляет каждый запрос в другую матрицу (показана зеленым цветом) и эффективно находит фрагменты, которые контекстуально соответствуют запросу, используя масштабируемые операторы векторного подобия (MaxSim).

Таблица 2.
Результаты второго этапа ранжирования

Значение N	Precision
5	0.62
10	0.55
20	0.5

Обсуждение

«Взаимодействие» относится к процессу оценки релевантности между запросом и документом путем сравнения их представлений. «Запоздалое взаимодействие» — это суть ColBERT. Этот термин основан на архитектуре модели и стратегии обработки, в соответствии с которой взаимодействие между запросом и представлением до-

кумента происходит на поздней стадии процесса, после того как они были независимо закодированы. Это контрастирует с моделями «раннего взаимодействия», в которых вложения запросов и документов взаимодействуют на более ранних этапах, как правило, до или во время их кодирования моделью. Более поздние модели взаимодействия, такие как ColBERT, оптимизируют эффективность и масштабируемость, позволяя предварительно вычислять представления документов и используя более легкий этап взаимодействия в конце, который фокусируется на уже закодированных представлениях. Такой выбор конструкции сокращает время поиска и требования к вычислительным ресурсам, что делает его более подходящим для обработки больших коллекций документов.

Заключение

Использование 2 видов ранжирования в поиске оправдано возрастающей точностью поиска. Более простые функции следует использовать на первом этапе, чтобы отсеять самые нерелевантные варианты, при этом не затратив значительных вычислительных мощностей. На втором этапе, имея набор документов, предварительно отсортированный, имеет смысл использовать более ресурсозатратные способы ранжирования, например языковые модели. Одной из таких моделей является ColBERT, которая сама является оптимизацией аналогичных решений с «ранними» вычислениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маннинг К., Рагхаван П., Шютце Х. Введение в информационный поиск. — М.: Вильямс, 2011. — С. 23.
2. А.В. Назаров. — М.: Издательство ИПЦ «Маска», 2019. — 480 с. — ISBN 978-5-6043822-8-2.
3. Витухновская А.А. Обучение технологии и стратегии информационного поиска на основе дифференциальных признаков информационно-поисковых систем // Информационное общество. 2013. № 1–2. С.69–79.
4. Тультаева И.В. Возможности применения поисковых систем для оптимизации сбора информации в сети Интернет // Бизнес. Образование. Право. 2014. № 4. С. 111–117.
5. Карпович С.Н. Многозначная классификация текстовых документов с использованием вероятностного тематического моделирования ml-PLSI / С.Н. Карпович // Труды СПИИРАН. — СПб.: СПб ФИЦ РАН, 2016
6. Галеева И.С. Интернет как инструмент библиографического поиска. М.: Профессия, 2007. С. 256.
7. Авдюшина, А.Е. Применение методов географического информационного поиска для анализа новостных данных // А.Е. Авдюшина, Ю.А. Королёва, Т.А. Маркина и др. // Информационные и математические технологии в науке и управлении. — 2024. № 1 (33). — 154–165. — <https://www.imt-journal.ru/archive/public/article?id=363> (дата обращения: 25.12.2024). doi: 10.25729/ESI.2024.33.1.014
8. Калмыков, М.А. История развития поисковых систем и алгоритмы их работы / М.А. Калмыков, О.В. Медникова. — Текст: электронный // Научные известия. — 2022. — № 28. — С. 33–35. — URL: www.elibrary.ru/download/elibrary_49030696_47350442.pdf (дата обращения: 22.12.2024).
9. Мизаев, М.М. Поисковые сайты и технологии поиска информации / М.М. Мизаев, М.С.М. Мусаева. — Текст: электронный // Экономика: вчера, сегодня, завтра. — 2022. — Т. 12, № 4-1. — С. 203–209. — URL: www.elibrary.ru/download/elibrary_49185941_75206277.pdf (дата обращения: 02.12.2024).
10. Федотов, А.М. Проблемы поиска информации: история и технологии. — Текст: электронный / А.М. Федотов, В.Б. Барахнин // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. — 2009. — Т. 7, № 2. — С. 3–17. — URL: www.elibrary.ru/download/elibrary_12916756_44907357.pdf (дата обращения: 22.12.2024).

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В РАБОТЕ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРГАНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

APPLICATION OF SYSTEM ANALYSIS IN THE WORK OF GOVERNMENT BODIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

**E. Matveeva
E. Muraya**

Summary. The article deals with topical issues of applying the principles of the structure and mechanisms of functioning of the systems of state bodies of the Russian Federation. Expanding the possibilities of action of authorities because of information technology systems makes it possible to introduce system analysis everywhere.

Keywords: system analysis, state bodies, system approach, methods, digitalization.

Матвеева Елена Владимировна

*к.ф.-м.н., доцент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения
gabitus-ev@mail.ru*

Мурая Елена Николаевна

*к.т.н., доцент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения
elena_muray22@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы применения принципов строения и механизмов функционирования систем государственных органов Российской Федерации. Расширение возможностей действия органов власти на основе информационно-технологических систем позволяет повсеместно внедрять системный анализ. С помощью описания различных методов. Цель исследования: выявление причин реальных сложностей, возникающих перед механизмами функционирования систем государственных органов посредством системного анализа.

Ключевые слова: системный анализ, государственные органы, системный подход, методы, принцип системности.

Введение

Управление государственными структурами Российской Федерации (РФ) является многоуровневой системой, которая управляет всеми ветвями власти: законодательной, исполнительной и судебной. Эта система включает в себя различные функции, выполняемые уполномоченными должностными лицами, которые обеспечивают реализацию ключевых задач, стоящих перед государством. Усложнение управления процессами требует оперативного подхода к решению государственных задач.

Для обеспечения целостности развития государственных органов в РФ в условиях цифровизации применяются эффективные и поддерживающие работу данной системы методы и технологии, примером которых выступает системный анализ. Время, когда системный анализ впервые начал свое применение в РФ сказать затруднительно, однако компетентные специалисты ссылаются на период ввода в эксплуатацию электронно-вычислительных машин, которые нашли должное использование во всех отраслях обеспечительного производства. В XXI веке к основам системного анализа прибегают социальная, политическая, экономическая сферы, а также предпринимательская деятельность, медицинская и военная области.

Системный подход помогает обеспечивать ускорение и упрощение всех процессов работы государственных

ных органов РФ [1]. Оценка качества государственного управления во многом зависит от технологических возможностей и функционирующих кадров, организующих выполнение возложенных полномочий.

Анализ системы в целом представляет собой это совокупность методов, подходов и процедур, направленных на создание и внедрение эффективного управления системой. Он включает всестороннее исследование объекта с использованием разнообразных инструментов. Результатом анализа системы является решение сложной задачи, стоящей перед государственными органами или учреждениями, а также детальное объяснение причин её возникновения.

Управление системами государственных органов всех мировых стран предполагает возникновение непредвиденных вызовов, спорных вопросов и препятствий перед руководством и кадровым составом в силу развивающихся социально-экономических, политических, а также психологических явлений противоречивого для процессов устойчивой работы характера.

Материалы и методы

Методы системного анализа широко используются в работе государственных органов РФ не только для внутренней организации и бесперебойного функционирования процесса работы, но и для оценки рисков, воз-

никающих в ходе управленческой деятельности, где применяется гибкое моделирование возможных ситуаций.

В отличие от других методик, использующихся в различных сферах и системах управления, системный анализ рассчитывает применение наиболее подходящих средств решения сложных задач и достижения целей, где уделяется важное внимание факторам риска, для исследования которых разрабатываются необходимые процедуры действия на основе различных взглядов.

Использование методики системного подхода в системах государственных органов отталкивается от принципов, на которых стоит методика, что в свою очередь доказывает эффективность эксплуатации системных методов. Главными принципами системного анализа для реализации работы аппарата государственного управления в РФ являются:

- принцип иерархии, который зеркально отождествляет структурную организацию подразделений государственных органов и их должностных лиц согласно званию, классному чину или должности;
- принцип главенствующей цели, позволяющий правильно квалифицировать и решить поставленную перед анализом задачу;
- принцип единства, рассматривающий систему целостно или частично в зависимости от объекта анализа;
- принцип развития, учитывающий ход изменяемости государственной системы;
- принцип неопределенности, рассматривающий наступления вероятных событий, явлений и (или) действий;
- принцип оптимальности, устанавливающий, что любое решение для подсистемы (части системы) не является решением для общей системы;
- принцип функциональности, ставящий при анализе задачи значение уровня функциональности системы выше, чем структура данной системы;
- принцип децентрализации, сочетающий в себе децентрализацию и централизацию одновременно — процесс перераспределения ролевых функций, сил и власти в описании динамики государственного и общественного управления;
- принцип организованности, охарактеризовывающий стадию и этап выполнения решения задачи и вынесения аналитического вывода.

В зависимости от вида государственного органа и их функциональных полномочий системный анализ использует отличные по своему виду методы: формальные и неформальные. Формальные методы выступают гарантом достоверного и полного анализа задачи или проблемы, неформальные методы являются противоречивым источником способов решения задачи, которые могут применяться только в совокупности с формальными ме-

тодами. Сочетание этих двух видов методов в системном анализе выступает его главной особенностью по сравнению с другими видами анализа. Использование данных методов отдельно друг от друга малоэффективно и вряд ли возможно, поскольку лишь в объединенном симбиозе, дополняя друг друга, методы могут находить новые и эффективные способы решения задач, а также позволяют оптимизированно совершенствовать модель системы в процессе принятия решений.

Государственные органы РФ апробируют различные методы системного анализа в своей работе. Одними из самых востребованных системно-аналитических методов в работе данной отрасли являются: метод «мозговой штурм», метод экспертных оценок и морфологический метод.

На основе метода «мозговой штурм» специалисты оперативно-розыскной деятельности для решения поставленной задачи (проблемы) приходят к широкому обсуждению идей, нахождению различных путей решения и критическому описанию ситуации. Данный метод базируется на следующем результате: среди всех выделенных общим обсуждением экспертов решений будет найдено минимум одно верное. В зависимости от количества участников обсуждения зависит количество найденных решений.

Метод экспертных оценок сочетает в себе различные формы опроса специалистов государственных органов, где происходит обсуждение и выбор наиболее правильного решения проблемы согласно критерию массовой достоверности происходящих событий. Чаще всего данный метод государственные органы используют в судебных спорах, политических дебатах или при аналитической деятельности выполненной работы.

Одним из методов экспертных оценок, используемых государственными органами РФ выступает метод «Дельфи», особенность которого состоит в недопущении открытого обсуждения проблемы специалистами. Метод «Дельфи» представляет собой процедуру многоэтапного анонимного опроса экспертов. В практике применения данного метода часто используются дополняющие опросы компоненты в виде вынужденного обоснования полученных ответов специалистами.

Еще одним методом используемым в работе государственных органов РФ выступает метод «дерева целей», помогающий за счет создания устойчивой иерархической структуры целей (задач) и подцелей вычислить необходимые направления деятельности для решения проблем.

Морфологический метод основывается на систематическом поиске различных альтернатив решения за-

дач посредством выделения характерных для этих задач признаков или элементом, за счет чего задачи можно разделять на объединенные группы и микро-группы.

Перечисленные методы не являются исчерпывающим перечнем методов, используемых на практике в работе государственных органов РФ, часть из них может быть внедрена в аналитический процесс лишь в объединенном тандеме. Помимо этого, каждый из методов имеет свойственные специфические недостатки или преимущества применения и ведет к своему результату. Для конкретного государственного органа РФ или ветви власти в РФ методы подбираются рационально узкому роду деятельности исходя из задачи. Подбором методов системно-аналитической деятельности в системе организации управлением государства занимаются уполномоченные руководители структурных подразделений, на плечах которых лежит долг и ответственность за каждый шаг в работе подчиненного им государственного органа РФ.

Литературный обзор

Системный анализ (СА) представляет собой методологический подход, направленный на изучение сложных систем и оптимизацию их функционирования. В контексте государственных органов России применение системного анализа становится неотъемлемым инструментом, способствующим улучшению качества принятия решений и повышению эффективности управления. Данный обзор ориентирован на исследование существующих источников о применении системного анализа в этой области.

Согласно литературе, теоретические основы системного анализа основывается на концепциях общей теории систем, что позволяет рассматривать организацию как единое целое (Сунько, 2015). Имеется множество определений СА, но большинство из них подчеркивают его целостный подход к решению комплексных задач (Гладкова, 2017). Важно отметить, что СА включает как формальные методы, так и качественный анализ, что делает его универсальным инструментом в управлении.

В историческом контексте применение системного анализа в государственных органах России имеет свою историю, начавшуюся с конца XX века. Как отмечает Литвак (2010), в этот период произошло значительное развитие методологических основ СА, что позволило создать крупные исследовательские центры. Особенно важным является создание Института системного анализа РАН в 1999 году, который стал важным звеном в методологии государственного управления (Афанасьев, 2016).

Современные тренды исследования в данной области подчеркивают растущую актуальность применения

СА для решения конкретных задач в государственных органах. В частности, Костенко и Петрова (2020) отмечают, что СА успешно применяется для развития стратегий в таких областях, как социальное обеспечение, экология, и здравоохранение. В этих сферах интеграция данных и уточнения целевых индикаторов через СА позволяет более эффективно распределять ресурсы и достигать поставленных целей.

Существует ряд практических примеров применения системного анализа в российском государственном управлении. Один из значимых случаев касается программы «Умный город», где СА использовался для интеграции культурных, социальных и инфраструктурных аспектов в единую систему (Семенова, 2021).

Также следует упомянуть применение СА в сфере экологии — анализ экологических рисков, который позволяет предсказать последствия производственной деятельности и улучшить контроль за экологическими стандартами (Михайлов, 2019).

Несмотря на успехи, в литературе поднимается вопрос о недостаточной открытости данных и недостатке толкования результатов системного анализа (Иванова, 2021). Это создает трудности в реализации полученных результатов на практике. При этом ученые отмечают, что дальнейшая интеграция системного анализа в практику государственных органов может значительно повысить качество государственного управления и способствовать более эффективному решению социальных проблем.

В заключение, можно отметить, что применение системного анализа в работе государственных органов Российской Федерации представляет собой важное направление, которое не только способствует повышению эффективности управленческих процессов, но и открывает новые горизонты для социоэкономического развития страны. Дальнейшее изучение данной темы и внедрение системного анализа в практику управления окажут положительное влияние на качество государственной политики и принятия решений в различных областях.

Результаты

На первом этапе исследования на основе анализа литературы было выстроено модель понимания системного подхода и методологии системного анализа в государственных органах. Затем проанализированы методы системного анализа, выбраны более подходящие, Определены цели, задачи, структура построения системного подхода для государственных органов. Проанализированы принципы системного анализа, выбраны наиболее подходящие: принцип двойственности, целостности, сложности, всесторонности, множественности динамич-

ности и историзма. Так же проанализированы факторы, влияющие на работу данной модели в условиях современной России, выявлены несоответствия моделей государственной системы на номинальном и реальном уровнях.

Таким образом, современная теория организации, развиваясь, неизбежно пересекается с концепциями общей теории систем. Применение принципов этой теории предоставляет уникальные возможности для анализа и понимания наиболее сложных систем, созданных человеком, таких как крупные социальные организации. Эти исследования позволяют выявлять взаимосвязи и динамику внутри организаций, а также учитывать влияние внешней среды на их функционирование.

В будущем системный подход как «образ мышления» будет всё шире применяться ко всем процессам управления. Это приведет к более эффективному принятию решений, оптимизации ресурсов и повышению адаптивности организаций к изменениям. Кроме того, системное мышление способствует интеграции различных дисциплин, что делает управление более комплексным и целостным. В условиях быстро меняющегося мира способность видеть систему в целом станет ключевым фактором успеха для организаций различного уровня.

Обсуждение

Стоит отметить, что системно-аналитический подход также используется в подготовке кадровых специалистов государственных органов и структур. Методология системного анализа выступает в управленческой структуре универсальным инструментом решения задач различного уровня и масштаба [2].

Большую значимость приобретает системно-аналитическая тематика в подготовке молодых квалифицированных специалистов согласно Федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО) по направлениям подготовки кадров государственного управления и служебной деятельности согласно существующим Национальным стандартам «ГОСТ». Перед обучающимися данного профессионального профиля стоит непростая задача, заключающаяся в должной подготовке к службе в правоохранительной и государственной деятельности.

Потенциальные работодатели ставят перед соискателями ряд требований и условий для поступления на работу (службу). В практическом виде требования выступают выработанные у претендентов на службу в ходе изучения профессии компетенции, к которым относят и системно — аналитические. Указанные требования включают профессиональные компетенции и общекультурные, требующиеся для успешного прохождения

аттестации и дальнейшей стажировки в работе государственных органов. Молодые специалисты доказывают нанимателям обладание необходимыми знаниями и умениями посредством прохождения квалификационного экзамена, среди которых выделяют следующее:

- способность анализировать и оценивать значимые для государственной деятельности явления, события и процессы;
- знание основных методов системного анализа и моделирования, а также теоретических и экспериментальных подходов к решению поставленных задач;
- готовность участвовать в разработке управленческих решений и нести ответственность за их реализацию в рамках своих должностных обязанностей, а также умение оценивать последствия принятых решений;
- способность выявлять проблемы, устанавливать цели, анализировать альтернативы и выбирать наилучший вариант решения;
- умение определять параметры качества управленческих решений и административных процессов, выявлять отклонения и принимать корректирующие меры для их устранения;
- способность обобщать и систематизировать информацию для создания баз данных, а также владение программными средствами для анализа и моделирования систем управления;
- умение применять как количественные, так и качественные методы анализа для оценки состояния экономической, социальной и политической среды, а также деятельности органов государственной власти Российской Федерации, органов власти субъектов Федерации, местного самоуправления, государственных и муниципальных организаций, предприятий, учреждений, политических партий и некоммерческих организаций;
- способность моделировать административные процессы и процедуры в органах государственной власти;
- умение выявлять информацию, необходимую для принятия решений, основываясь на получении «обратной связи» в профессиональной деятельности;
- способность оценивать экономические, социальные и политические условия, а также последствия реализации государственных программ.

В соответствии с перечнем необходимых компетенций, требуемых от молодого специалиста для поступления на государственную службу Российской Федерации, системно-аналитическая составляющая его будущей профессиональной деятельности тесно связана с управленческим аспектом работы государственных органов. Это подразумевает способность эффективно применять всесторонний системный анализ для принятия обоснованных

ванных управленческих решений, учитывающих различные отраслевые проблемы, такие как финансовая, экономическая, политическая и правовая сферы, а также организационные и кадровые аспекты профессиональной деятельности.

Серьезность подготовки специалистов государственных органов свидетельствует о значимости и важности наличия в кадровом составе главных управленческих структур государства квалифицированных профессионалов, обладающих системно-аналитической, информационно-методической, проектной, коммуникативной, организационно-управленческой и исполнительской видами компетенций.

В условиях современности и технологичности всех процессов работы любой деятельности системный подход позволяет объединить в себе качественный глубокий анализ и всестороннее исследование постигаемых объектов. Однако, не смотря на положительную картину подготовки будущих соискателей работы в государственных органах РФ, в действительной реальности обучение студентов профилей государственного управления и служебной деятельности имеет ряд проблем.

Осуществление системно-аналитической подготовки специалистов, выступающей обязательной компетенцией для прохождения аттестационной процедуры в государственные органы РФ, проистекает без основных для качественного обучения учебных пособий о применении системного анализа в государственном управлении [3]. Обучение системно-аналитической деятельности согласно ФГОС РФ и ГОСТам (национальным стандартам) освещает будущим кадрам государства теоретизированные общие принципы системного подхода в профессиональной деятельности без должного сопровождающего процесс обучения практического управления — практики применения системно-аналитических методов.

Методы системного анализа, применяемые в государственном управлении, значительно опережают доступную методическую литературу для обучения специалистов. Проблемы внедрения результатов системно-аналитических исследований в управленческую практику госорганов не могут быть детально изучены студентами и успешно закреплены на практике.

Одним из решений данной задачи является разработка системно-аналитического пособия, которое станет необходимой базой для подготовки будущих работников государственных органов в высших учебных заведениях России. Это создаст широкие возможности для применения современных и усовершенствованных методов системного анализа в деятельности госорганов в ближайшем будущем.

Следует добавить, что наиболее крупные системно-аналитические проекты отечественного и зарубежного государственного уровня не представляются на литературное обозрение обучающимся. В силу отсутствия рассмотрения в обучении студентов особо интересных вопросов применения системного анализа, развитие системного анализа государственного управления стоит на грани регрессии, а системно-аналитический подход в данной сфере деятельности остается малоисследованным.

Заключение

Основная система состоит из взаимосвязанных подсистем, взаимодействие между которыми выражается в потоках информации, необходимых для принятия решений.

Системный подход не следует рассматривать как простой алгоритм или механический инструмент, использование которого гарантировало бы успех. Это не ограничивается строго определённым набором методов и не привязано к конкретным областям человеческой деятельности.

Этот подход предоставляет широкую основу для восприятия организации как единой системы. Он способствует достижению целей её функционирования, обеспечивая чёткое понимание взаимодействия между подсистемами и их интеграции в единое целое.

Системный анализ является одним из центральных направлений в рамках системного подхода. Его современное состояние можно охарактеризовать следующими аспектами:

- он находит применение для решения задач, которые не могут быть корректно сформулированы и решены с использованием отдельных формальных методов;
- включает как формальные, так и качественные методы анализа, направленные на стимуляцию интуиции и накапливаемого опыта специалистов из различных областей;
- обеспечивает глубокое понимание проблемных ситуаций, что способствует разработке более эффективных управленческих стратегий.

Из вышеизложенного следует, что системный анализ представляет собой важный инструмент в рамках комплексного изучения и оптимизации организационных процессов, что создает новые возможности для принятия обоснованных и взвешенных управленческих решений.

Применение анализа систем в работе функционирующего государственных органов Российской Федерации является основополагающим средством для решения

ключевых вопросов государственного управления, а также для решения стратегически значимых задач и проблем, возникающих в ходе выполнения этих функций.

Все существующие направления функционирования государственных структур претерпевают в условиях современности период реформирования рабочих процессов, который также сопровождается использованием системного подхода. Подготовка управленческих кадров предъявляет в силу развития истории более возрастающие требования к кандидатам на государствен-

ную службу, необходимая квалификация для принятия на службу в основной кадровый состав должна обладать практическими умениями в области принятия управленческих решений, от которых всегда будет зависеть современная история России. Разработка качественных и рациональных моделей системного анализа для каждого государственного органа РФ требует совершенствования существующих методов системного анализа и внедрения новых, в том числе с использованием зарубежного опыта государственного управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трипкош, В.А. Информатизация институтов управления и финансовых структур: учебное пособие / В.А. Трипкош. — Оренбург: ОГУ, 2019. — 111 с.
2. Ордина, О.Н. Государственное регулирование ведения бизнеса: понятие, методы, формы. Государственные органы контроля и надзора: учебно-методическое пособие / О.Н. Ордина. — Москва: РУТ (МИИТ), 2021. — 35 с.
3. Клименко, И.С. Системный анализ в управлении: учебное пособие для вузов / И.С. Клименко. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 272 с.

© Матвеева Елена Владимировна (gabitus-ev@mail.ru); Мурая Елена Николаевна (elena_muray22@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ОТБОРА РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ ДЛЯ ПРОЕКТОВ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

GENETIC ALGORITHMS AS A TOOL FOR INTELLIGENT SELECTION OF MANAGEMENT PERSONNEL FOR EDUCATIONAL PROJECTS

**A. Oshkin
V. Pavlov**

Summary. The article is devoted to the use of genetic algorithms to optimize processes in the field of education, in particular, for management and formation of innovative teams in educational projects. The relevance of the study is due to the need to develop effective methods of human resource management in the context of digital transformation of education. It is proposed to use a modified genetic algorithm with an adaptive evaluation function to optimize the process of forming project teams. Particular attention is paid to the issues of algorithm adaptability, which allows taking into account changing project requirements and the dynamics of employee competencies development. An overview of existing studies on the use of genetic algorithms in education is presented, including work on optimizing exam schedules, forming training sequences for neural network technologies for knowledge control and developing inclusive education. The potential of genetic algorithms in solving complex educational problems and improving the efficiency of educational process management at various levels is emphasized.

Keywords: genetic algorithm, synergy, adaptive strategy, innovative leadership, genetic programming.

В современном образовании инновационный потенциал и активность образовательных учреждений играют ключевую роль в обеспечении качества обучения. Управление инновационными проектами в сфере образования представляет собой комплексную задачу, охватывающую различные аспекты — от человеческих ресурсов до педагогических и технологических компонентов.

Особое значение в образовательных инновациях имеет кадровый вопрос. Формирование эффективной команды руководителей проектов и поиск оптимального баланса между их компетенциями становятся приоритетными задачами для администрации учебных заведений. Генетические алгоритмы (ГА) могут служить инструментом для интеллектуального отбора руководящих кадров, позволяя оптимизировать процесс подбора персонала [1].

Ошкин Андрей Владимирович

Аспирант, Московский Финансово-Юридический
Университет (МФЮА)
Andrey.OshkinVL@yandex.ru

Павлов Валерий Анатольевич

кандидат экономических наук, доцент, Московский
Финансово-Юридический Университет (МФЮА)
29359332@s.mfu.ru

Аннотация. Статья посвящена применению генетических алгоритмов для оптимизации процессов в сфере образования, в частности, для руководства и формирования инновационных команд в образовательных проектах. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки эффективных методов управления человеческими ресурсами в условиях цифровой трансформации образования. Предлагается использование модифицированного генетического алгоритма с адаптивной функцией оценки для оптимизации процесса формирования проектных команд. Особое внимание уделено вопросам адаптивности алгоритма, что позволяет учитывать изменяющиеся требования к проектам и динамику развития компетенций сотрудников. Представлен обзор существующих исследований по применению генетических алгоритмов в образовании, включая работы по оптимизации расписания экзаменов, формированию обучающих последовательностей для нейросетевых технологий контроля знаний и развитию инклюзивного образования. Подчеркивается потенциал генетических алгоритмов в решении комплексных образовательных задач и повышении эффективности управления образовательными процессами на различных уровнях.

Ключевые слова: генетический алгоритм, синергия, адаптивная стратегия, инновационное лидерство, генетическое программирование.

Современные тенденции в образовании обуславливают специфику инновационных проектов в этой сфере. Наблюдается усиление практико-ориентированного подхода, внедрение цифровых технологий в учебный процесс. Это влияет на типологию образовательных проектов, которые могут варьироваться от локальных улучшений до масштабных реформ [8].

При формировании команд руководителей образовательных проектов важен принцип разнообразия компетенций. Эффективность работы такой команды зависит от ряда факторов, включая педагогический опыт, управленческие навыки и инновационное мышление. Генетические алгоритмы могут учитывать эти параметры при отборе кандидатов, обеспечивая оптимальный состав руководящих кадров.

Отдельное внимание уделяется привлечению специалистов с различным уровнем опыта в сфере образова-

ния и управления проектами. Генетические алгоритмы позволяют балансировать состав команды, учитывая сильные стороны, как опытных руководителей, так и молодых инновационных лидеров, способных привнести свежие идеи в образовательные проекты.

Согласно наблюдениям исследователей, из рекрутинговой компании *HeadHunter*, российские компании все чаще полагаются на «аналитику человеческого капитала» при решении кадровых вопросов, включая наем, увольнение, оценку эффективности и продвижение персонала. Тем не менее, важно подчеркнуть сложность разработки математической модели, описывающей оптимальное функционирование любой естественной системы [2].

В таблице 1 представлены ключевые характеристики инновационного проекта и участников команды, которые играют важную роль в оценке потенциала и сложности реализации проекта. Таблица включает в себя восемь параметров, каждый из которых имеет несколько вариантов, оценку важности по шкале от 1 до 5 и соответствующий коэффициент сложности. Эти данные позволяют комплексно оценить проект и его участников, учитывая такие аспекты, как тип и продолжительность проекта, ожидаемый эффект, квалификацию и опыт участников, их уникальные навыки, роли в команде и технический уровень.

В современной научной практике для решения оптимизационных задач применяются инновационные парадигмы, направленные на достижение оптимального баланса между эффективностью и качеством решений посредством селекции наиболее адаптивных альтернатив в условиях неопределенности и нечеткости. Одной из таких перспективных парадигм является генетическое программирование, потенциал которого емко охарактеризовал М. Шмидт, отметив, что при наличии генетического алгоритма и вычислительных мощностей, ученые уровня Ньютона и Кеплера могли бы вывести фундаментальные законы физики за считанные часы [4].

Генетические алгоритмы представляют собой инновационный инструмент для интеллектуального отбора руководящих кадров в образовательных проектах. Основанные на принципах биологической эволюции, ГА предлагают значительные преимущества по сравнению с традиционными методами отбора персонала.

В контексте подбора руководящих кадров для проектов в сфере образования, ГА позволяют:

1. Обработать комплексные наборы параметров, характеризующих кандидатов.
2. Анализировать множество альтернативных кандидатур одновременно.
3. Использовать целевые функции для оценки соответствия кандидатов требованиям проекта.

4. Применять вероятностный подход к решению задачи оптимального подбора персонала.

В отличие от традиционных методов оценки потенциала сотрудников, ГА могут автоматизировать и оптимизировать процесс, включающий идентификацию ключевых характеристик, разработку методологии оценки, проведение оценочных мероприятий, обработку данных и формулировку рекомендаций по формированию команды [6].

Применение ГА в сфере управления человеческими ресурсами для образовательных проектов открывает новые возможности для повышения эффективности отбора руководящих кадров и формирования высокопроизводительных команд. (рис. 1).

В современной научной практике генетические алгоритмы часто применяются в качестве вспомогательных инструментов для оптимизации различных методологических подходов. Ряд исследований демонстрирует эффективность их использования в образовательной сфере [5].

В частности, генетические алгоритмы успешно интегрируются в процесс обучения нейронных сетей для решения широкого спектра задач. Например, они применяются для оптимизации параметров подачи образовательного материала в системах адаптивного обучения, формирования репрезентативных обучающих выборок в системах контроля знаний, а также для настройки начальных весов и пороговых значений нейросетей, оценивающих качество преподавания. Кроме того, генетические алгоритмы используются для обучения параметров гибридных нейро-нечетких систем в управлении информационно-библиотечными фондами образовательных учреждений [7].

Помимо этого, генетические алгоритмы находят применение в оптимизации различных организационных процессов в сфере образования. В частности, они используются для оптимизации учебных планов при сетевом обучении, рационального распределения учебной нагрузки в рамках кафедры, а также для разработки стратегий внедрения инновационных IT-инфраструктур в образовательных учреждениях.

Для оптимизации процесса формирования инновационных команд предлагается использовать модифицированный генетический алгоритм с адаптивной функцией оценки. Рассмотрим ключевые аспекты предлагаемого подхода.

Кодирование решений

Каждое потенциальное решение (особь) представляется в виде хромосомы $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, где n — количе-

Таблица 1.

Характеристики инновационного образовательного проекта и участников команды

Параметр Parameter	Варианты Options	Оценка важности (1–5) Importance rating (1–5)	Коэффициент сложности Difficulty factor
Тип образовательного продукта Type of educational product	Онлайн-курс Online course	4	1.2
	Образовательная платформа Educational platform		1.5
	Корпоративное обучение Corporate training		1.3
Продолжительность разработки Development time	До 6 месяцев Up to 6 months	3	1.0
	6–12 месяцев 6–12 months		1.2
	Более 1 года More than 1 year		1.5
Ожидаемый охват аудитории Expected audience reach	До 1000 пользователей Up to 1000 users	5	1.0
	1000–10000 пользователей 1000–10000 users		1.3
	Более 10000 пользователей More than 10,000 users		1.6
Квалификация участника Participant qualification	Бакалавр Bachelor	4	1.0
	Магистр Master		1.2
	МВА/Ученая степень MBA/Academic Degree		1.5
Опыт в EdTech проектах Experience in EdTech projects	Нет No	3	0.8
	1–2 проекта 1–2 projects		1.0
	3 и более 3 or more		1.3
Навыки цифрового маркетинга Digital Marketing Skills	Отсутствуют None	4	1.0
	Базовые Basic		1.2
	Продвинутые Advanced		1.5
Роль в команде Role in the team	Контент-менеджер Content Manager	3	1.0
	Продуктовый менеджер Product Manager		1.3
	Руководитель проекта Project Manager		1.5
Уровень владения EdTech инструментами Proficiency level EdTech tools	Начинающий Beginning	4	1.0
	Опытный Expert		1.3
	Эксперт Experienced		1.6

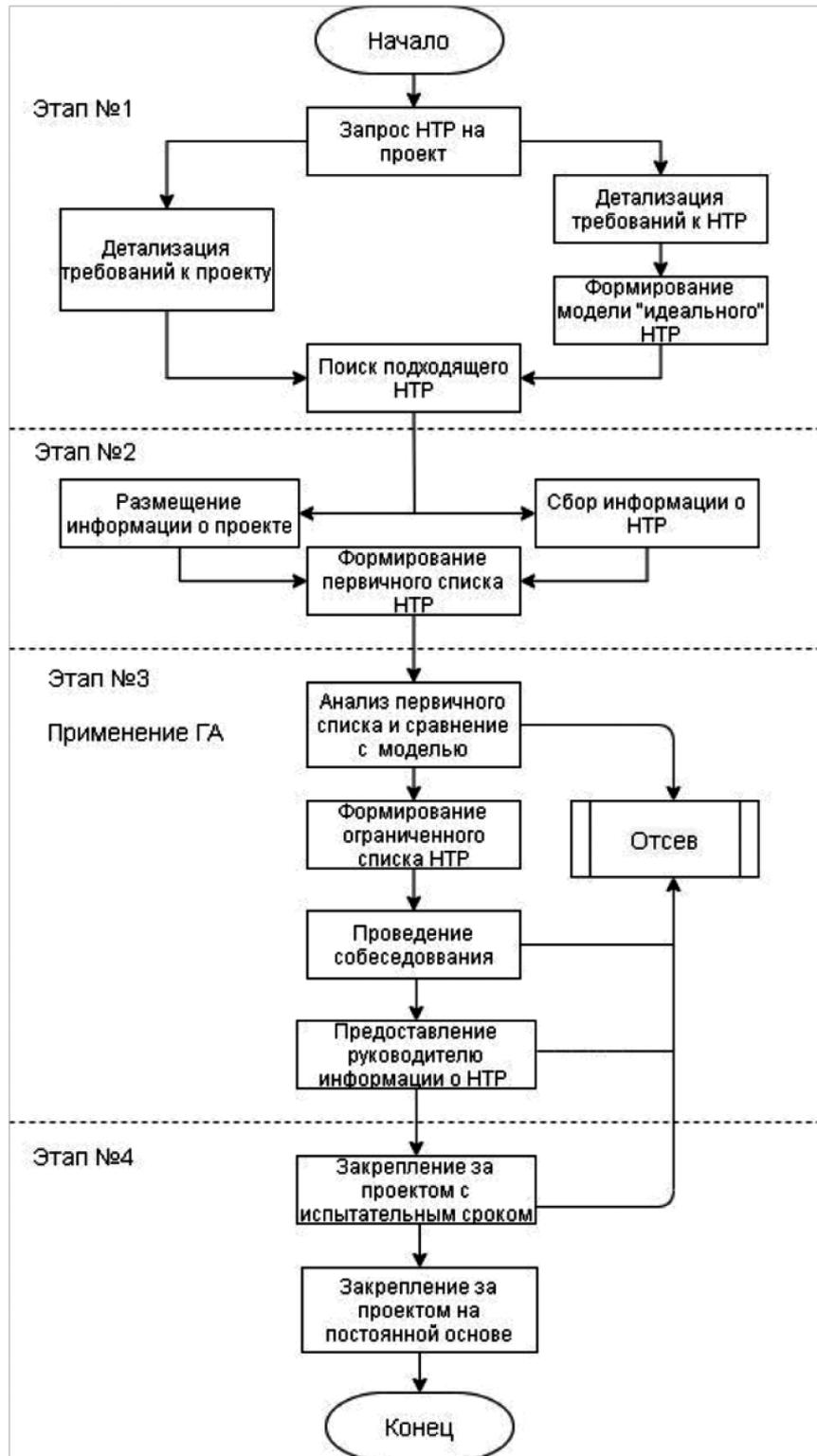


Рис. 1. Последовательность подбора потенциальных проектантов для выполнения инновационного проекта¹

¹ НТР (High-Throughput Processing) — высокопроизводительная обработка, представляет собой методологию, используемую в генетических алгоритмах для быстрой и эффективной оценки большого количества потенциальных решений. В контексте подбора инновационных проектных команд, НТР позволяет осуществлять параллельную оценку множества кандидатов по заданным критериям, что существенно ускоряет процесс оптимизации. Данный подход особенно важен при работе с большими объемами данных и сложными многопараметрическими задачами, характерными для цифрового рекрутинга в инновационной сфере. НТР обеспечивает эффективное исследование пространства решений, способствуя более быстрому достижению оптимального или близкого к оптимальному результата в процессе генетической эволюции алгоритма.

ство проектов, а $x_i \in \{1, \dots, m\}$ — номер сотрудника, назначенного на i -й проект (m — общее число сотрудников).

Функция приспособленности

Предлагается использовать комплексную функцию приспособленности:

$$F(X) = w_1 * C(X) + w_2 * S(X) + w_3 * D(X)$$

где: $C(X)$ — оценка компетентности команды
 $S(X)$ — оценка синергии между членами команды
 $D(X)$ — оценка разнообразия навыков
 w_1, w_2, w_3 — весовые коэффициенты

Оценка компетентности осуществляется путем вычисления агрегированной суммы произведений уровней владения каждой отдельной компетенцией на её весовую значимость в контексте специфики данного проекта.

$$K = \sum(C_i * W_i)$$

Где: K — общая оценка компетентности участника
 C_i — уровень владения i -той компетенцией
 W_i — весовая значимость i -той компетенции в контексте проекта
 \sum — сумма по всем релевантным компетенциям.

Синергетический эффект в команде определяется как результат суммирования коэффициентов взаимодействий между каждой парой участников. Это позволяет учесть не только индивидуальные навыки, но и способность членов команды эффективно сотрудничать и взаимодействовать друг с другом.

$$S = \sum(I_{ij})$$

Где: S — общий синергетический эффект.
 I_{ij} — коэффициент взаимодействия между участниками i и j .
 \sum — сумма по всем парам участников команды.

Разнообразие в команде анализируется через распределение компетенций среди её участников, что является ключевым для обеспечения широкого спектра навыков и подходов к решению задач.

$$D = 1 - \sum(p_i^2)$$

Где: D — индекс разнообразия (может быть использован индекс Симпсона)
 p_i — доля i -той компетенции в общем наборе компетенций команды
 \sum — сумма по всем компетенциям.

При подборе новых командных составов используется метод циклического скрещивания, который позво-

ляет сохранять уникальные характеристики каждого кандидата, а также случайные перестановки, которые вносят элемент неопределенности и новизны в командную динамику.

Алгоритмический подход адаптируется к изменениям в процессе работы, корректируя важность различных критериев оценки на основе промежуточных результатов. Это позволяет гибко реагировать на изменения в требованиях проекта и способствует более точной настройке команды [3].

Применение ГА в процессе формирования инновационных команд для образовательных проектов начинается с тщательного сбора данных о потенциальных кандидатах. Важность этого этапа заключается в необходимости получения объемной и структурированной информации о компетенциях, опыте, личностных характеристиках и профессиональных достижениях каждого претендента. Источники данных могут включать резюме, профили в социальных сетях профессионального характера, результаты психологических оценок и интервью. Следующий шаг включает настройку параметров генетического алгоритма, таких как размер популяции, количество поколений, вероятность скрещивания и мутации, а также весовые коэффициенты функции приспособленности, что позволяет учесть уникальные требования каждого конкретного образовательного проекта.

Далее происходит формирование начальной популяции на основе собранных данных. Каждая потенциальная команда представляется в форме хромосомы, в которой гены символизируют кандидатов, занимающих определенные роли в проекте. Инициация популяции может быть случайной или базироваться на предварительных эвристиках, направленных на обеспечение минимального уровня разнообразия навыков и компетенций. Процесс эволюции в рамках ГА является итеративным и включает оценку приспособленности каждой команды, что позволяет не только учитывать компетентность, но и синергию и разнообразие в команде. Генетические операции, такие как селекция, скрещивание и мутация, способствуют формированию новых поколений команд, что продолжается до достижения критерия остановки, такого как заданное количество поколений или достижение сходимости.

По завершении работы алгоритма осуществляется анализ выявленных наиболее приспособленных команд. Решающее лицо может выбрать одну или несколько команд для дальнейшего рассмотрения, что может включать дополнительные интервью или экспертные оценки. Важным аспектом является адаптация и сбор обратной связи в ходе реализации образовательного проекта, что позволяет корректировать параметры ГА для улучшения последующих итераций подбора персонала. Это обеспе-

чивает учет изменений в требованиях проекта и развития компетенций сотрудников, способствуя повышению качества управления проектами и эффективности формирования команд. Таким образом, интеграция генетических алгоритмов в процесс подбора персонала позволяет достигать оптимального баланса компетенций, синергии и разнообразия, что является ключевым для успешной реализации инновационных образовательных проектов.

Пример применения генетического алгоритма в России

Для иллюстрации эффективности предложенного ГА при отборе руководящих кадров для образовательных проектов, рассмотрим практическое применение данного подхода в одном из ведущих российских образовательных учреждений — Московском финансово-юридическом университете (МФЮА).

Исходные данные

В ходе реализации проекта по созданию инновационной образовательной платформы МФЮА потребовалась формирование команды из пяти ключевых позиций:

1. Руководитель проекта.
2. Продуктовый менеджер.
3. Контент-менеджер.
4. Специалист по цифровому маркетингу.
5. Эксперт по EdTech инструментам.

Для отбора кандидатов на каждую позицию были собраны данные о 20 потенциальных сотрудниках, включая их квалификацию, опыт в EdTech проектах, навыки цифрового маркетинга и уровень владения EdTech инструментами. Ниже представлена таблица с оценочными данными кандидатов (табл. 2).

Для оптимизации процесса формирования команды были заданы следующие параметры ГА:

- Размер популяции: 50
- Количество поколений: 100
- Вероятность скрещивания: 0.8
- Вероятность мутации: 0.05

Функция приспособленности была разработана с учетом следующих критериев:

1. Компетентность команды (30 %) — сумма оценок квалификации и опыта кандидатов.
2. Совместимость участников (25 %) — измеряется на основе психологических тестов и предыдущего опыта совместной работы.
3. Разнообразие опыта (20 %) — оценка разнообразия профессиональных навыков и опыта участников.
4. Навыки цифрового маркетинга (15 %) — уровень владения цифровыми инструментами.
5. Уровень владения EdTech инструментами (10 %) — способность эффективно использовать образовательные технологии.

Процесс эволюции

На первом этапе формирования популяции каждую потенциальную команду представляли в виде хромосомы, состоящей из пяти генов, где каждый ген соответствовал назначению конкретного кандидата на одну из пяти позиций. Инициализация популяции осуществлялась случайным образом с учетом минимального уровня разнообразия навыков.

Пример двух хромосом из начальной популяции:

Хромосома 1: [Кандидат 1, Кандидат 2, Кандидат 3, Кандидат 4, Кандидат 5].

Таблица 2.

Настройка генетического алгоритма

Кандидат Candidate	Квалификация Qualification	Опыт в EdTech проектах Experience in EdTech projects	Навыки цифрового маркетинга Digital Marketing Skills	Уровень владения EdTech инструментами Level of proficiency in EdTech tools
Кандидат 1 Candidate 1	MBA	3 проекта 3 projects	Продвинутые Advanced	Эксперт Expert
Кандидат 2 Candidate 2	Магистр Master	2 проекта 2 projects	Средние Average	Опытный Experienced
Кандидат 3 Candidate 3	Бакалавр Bachelor	1 проект 1 project	Базовые Basic	Средний Average
Кандидат 4 Candidate 4	Магистр Master	2 проекта 2 projects	Продвинутые Advanced	Опытный Experienced
Кандидат 5 Candidate 5	MBA	3 проекта 3 projects	Средние Average	Эксперт Expert
...

Таблица 3.

Пример приспособленности команды

Позиция Position	Выбранный кандидат Selected candidate	Оценка компетентности Competence assessment	Совместимость Compatibility	Разнообразие опыта Diversity of experience	Навыки ЦМ CM Skills	Уровень Level
Руководитель проекта Project Manager	Кандидат 1 Candidate 1	9	8	7	6	9
Продуктовый менеджер Product manager	Кандидат 7 Candidate 7	8	7	8	5	8
Контент-менеджер Content manager	Кандидат 13 Candidate 13	7	9	6	7	7
Специалист Цифрового маркетинга Specialis of Digital Marketing	Кандидат 4 Candidate 4	6	8	5	9	6
Эксперт Expert	Кандидат 19 Candidate 19	8	7	7	6	10

Хромосома 2: [Кандидат 6, Кандидат 7, Кандидат 8, Кандидат 9, Кандидат 10].

На каждом поколении производилась оценка приспособленности каждой хромосомы с использованием функции приспособленности. Затем происходили операции селекции, скрещивания и мутации для создания нового поколения.

Результаты работы алгоритма

По истечении 100 поколений генетический алгоритм выявил несколько наиболее приспособленных команд. Ниже представлен пример одной из таких команд (табл. 3).

Общая оценка приспособленности данной команды составила 85 из 100 возможных баллов, что является наивысшим результатом среди всех рассмотренных команд.

Внедрение на практике

На основе результатов генетического алгоритма руководство МФЮА приняло решение о формировании команды из предложенных кандидатов. Внедрение команды сопровождалось следующими этапами:

1. Дополнительные интервью и оценка личностных качеств — подтверждение результатов алгоритма посредством взаимодействия с кандидатами.
2. Организационные мероприятия — проведение тренингов для улучшения командной динамики и понимания общих целей проекта.

3. Мониторинг и адаптация — регулярная оценка эффективности команды и при необходимости корректировка состава с использованием адаптивных возможностей ГА.

Применение генетического алгоритма позволило значительно ускорить процесс отбора руководящих кадров, обеспечив при этом высокий уровень соответствия выбранных кандидатов требованиям проекта. Команда, сформированная с использованием ГА, продемонстрировала отличные результаты на этапе пилотной реализации образовательной платформы, что подтверждает целесообразность использования данного подхода в управлении персоналом образовательных проектов.

Подводя итоги настоящего исследования, отметим, что применение предложенной методологии позволяет комплексно оценивать потенциал кандидатов, формировать высокоэффективные управленческие команды для реализации образовательных проектов. Метод учитывает как индивидуальные компетенции, так и групповую динамику, обеспечивая тем самым более высокую степень согласованности и эффективности в действиях команды. Такой подход позволяет адаптировать систему управления персоналом образовательных учреждений к различным типам проектов, способствуя тем самым повышению качества управления инновационными образовательными инициативами и достижению улучшенных результатов в развитии учебных заведений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авдеева, И.В. Проектирование программы повышения квалификации руководящих кадров сферы образования / И.В. Авдеева // Человек и образование. — 2023. — № 1(74). — С. 105–116.
2. Аналитический отчёт рекрументовой компании HeadHunter. — URL: <https://krasnoyarsk.hh.ru/article/25492> (дата обращения: 20.02.2020).
3. Бессонов, А.А. Диагностика «командной срабатываемости» при формировании управленческой команды / А.А. Бессонов // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров. — 2014. — № 3(20). — С. 48–55.
4. Генетические и квантовые алгоритмы. Ч. 1: Инновационные модели в обучении / С.В. Ульянов, В.Н. Добрынин, Н.Ю. Нефедов [и др.] // Системный анализ в науке и образовании. — 2010. — № 3. — С. 226–253.
5. Зиновьев, В.И. Применение генетических алгоритмов в развитии инклюзивного образования / В.И. Зиновьев // Динамика взаимоотношений различных областей науки в современных условиях: сборник статей Международной научно-практической конференции, Уфа, 13 ноября 2017 года. Том Часть 1. — Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2017. — С. 172–174.
6. Киселева, В.К. Оценка кадрового потенциала организации: методический подход / В.К. Киселева, А.А. Пчелко // Гагаринские чтения 2017: Тезисы докладов, Москва, 05–19 апреля 2017 года. — Москва: Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2017. — С. 1273.
7. Мастикова, В.А. Генетический подход к решению проблемы формирования расписания экзаменов в высших учебных заведениях / В.А. Мастикова, А.С. Бахтин // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». — 2021. — № 1. — С. 120–130.
8. Saparov, G. Innovative technologies are an integral part of modern education / G. Saparov, A. Akyeva, 2024. — P. 25–29.

© Ошкин Андрей Владимирович (Andrey.OshkinVL@yandex.ru); Павлов Валерий Анатольевич (29359332@s.mfua.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПОСТРОЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КАПИТАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ НА ФИНАНСОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПАНИИ

CONSTRUCTION AND APPLICATION OF FUZZY COGNITIVE MAPS FOR ASSESSING THE IMPACT OF CAPITAL PROJECTS ON A COMPANY'S FINANCIAL PERFORMANCE

R. Romanov

Summary. The paper presents an approach to using fuzzy cognitive maps (FCMs) for analyzing the impact of capital projects on a company's financial and economic performance. Based on a systematic approach and fuzzy mapping, a predictive model of financial and economic indicators is proposed, taking into account this influence. The developed approach formalizes expert knowledge and establishes causal relationships between key factors such as resource costs, demand dynamics, and currency fluctuations. FCMs support strategic decision-making aimed at optimizing corporate management under high uncertainty. Scenario modeling is explored to assess environmental changes and their effects on financial sustainability.

Keywords: fuzzy cognitive maps, financial and economic indicators, capital projects, strategic management, modeling, uncertainty.

Романов Родион Модестович

аспирант, Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»
Rodion.Romanov.M@yandex.com

Аннотация. В статье представлен подход к применению нечетких когнитивных карт (НЧК) для анализа влияния капитальных проектов на финансово-экономические показатели компании. На основе системного подхода и нечеткого картирования предложена прогнозная модель финансово-экономических показателей, учитывающая это влияние. Разработанный подход позволяет формализовать экспертные знания и установить причинно-следственные связи между ключевыми факторами, такими как стоимость ресурсов, динамика спроса и валютные колебания. Использование НЧК способствует поддержке стратегических решений, направленных на оптимизацию корпоративного управления в условиях высокой неопределенности. Рассмотрены сценарии моделирования для оценки изменений внешней среды и их влияния на финансовую устойчивость.

Ключевые слова: нечеткие когнитивные карты, финансово-экономические показатели, капитальные проекты, стратегическое управление, моделирование, неопределенность.

Актуальность

В условиях растущей неопределенности и динамичности внешней среды перед современными организациями встает задача применения научно обоснованных и точных инструментов для стратегического планирования и поддержки принятия управленческих решений. Среди таких инструментов выделяют системы поддержки принятия решений (далее — СППР), интегрирующие когнитивные подходы, которые приобретают все большее значение в управлении крупными корпоративными структурами, такими как ПАО «Газпром». Одним из наиболее перспективных методов в этом направлении являются нечеткие когнитивные карты (далее — НЧК), обладающие способностью формализовать экспертные знания, моделировать сложные причинно-следственные связи и учитывать неопределенность, что особенно важно в условиях управления долгосрочными капитальными проектами с высокой степенью риска.

Использование НЧК позволяет формализовать экспертные знания, интегрировать их с количественными

данными, а также учитывать неопределенность и нелинейность процессов, что особенно важно при управлении капитальными проектами с высоким уровнем риска и долгосрочным влиянием. Такой подход обеспечивает повышение точности прогнозирования целевых финансовых показателей, адаптивность к изменениям среды и улучшение качества принимаемых решений.

Применение НЧК предоставляет возможность интеграции качественных экспертных знаний с количественными данными, а также эффективного учета факторов неопределенности и нелинейности экономических процессов. Это становится критически важным для управления капитальными проектами, которые характеризуются высоким уровнем риска и долгосрочным влиянием на финансовую устойчивость компаний. Данный подход способствует не только повышению точности прогнозирования ключевых финансовых показателей, но и увеличению адаптивности корпоративных систем к изменяющимся внешним условиям, что, в свою очередь, улучшает качество принимаемых стратегических решений.

Состояние проблемы

Применение интегрированных систем поддержки принятия решений (далее — ИСППР) в крупных корпоративных структурах, таких как ПАО «Газпром», демонстрирует высокий уровень математической формализации процессов стратегического планирования и управления. Эти системы позволяют прогнозировать финансово-экономические показатели посредством анализа значительных объемов исторических данных и применения разнообразных моделей обработки временных рядов. Однако, несмотря на высокий уровень автоматизации, в условиях неопределенности и динамичности внешней среды прогнозирование требует учета экспертных знаний и мнений.

Наиболее распространённым подходом прогнозирования временных рядов является сведение задачи прогнозирования к регрессии. Основной идеей данного метода является нахождение отношений между факторами, относительно которых строится прогноз. Однако данный метод ограничен в понимании ввиду недостаточной объяснимости получаемых результатов. [1]

В исследовании Н. Шейхруху [2] выделены три подхода к интеграции экспертных оценок в процесс прогнозирования:

- включение оценочных суждений при выборе и построении моделей прогнозирования;
- сравнение модельных прогнозов с экспертными оценками для последующего анализа и корректировки;
- корректировка модельных прогнозов на основе опыта и знаний экспертов, что предполагает формализованный и однозначный процесс принятия решений.

Исследователи, такие как Р. Филдс и Н. Шейхруху [2, 3], отмечают, что первые два подхода обладают высокой степенью субъективности, что может негативно сказываться на точности прогнозов. Предпочтительным считается третий подход, требующий формализации и четкости в принятии решений.

Современная научная литература уделяет значительное внимание развитию методов, направленных на минимизацию субъективности при сохранении возможности экспертного участия в прогнозировании. Одним из перспективных направлений является когнитивное моделирование, основанное на идеях В. Коско [4]. Это привело к разработке нечетких когнитивных карт, которые позволяют формализовать причинно-следственные связи между факторами на основе экспертных знаний.

В отечественной практике российские исследователи успешно адаптировали данный подход для прогно-

зирования временных рядов и анализа динамических процессов [5]. Применение НКК предоставляет возможность объединить временные данные с экспертными гипотезами, формируя формализованную модель влияния различных факторов на прогнозируемые показатели. Тем самым построение данной модели способствует принятию управленческих решений [1].

Преимуществом метода НКК является способность учитывать нечеткость и неопределенность взаимосвязей между факторами, что способствует более точному моделированию сложных социально-экономических систем [6]. НКК служат эффективным инструментом поддержки принятия решений, повышая информированность лиц, принимающих решения (далее — ЛПР), за счет структурирования знаний и мониторинга значимых событий, влияющих на прогнозные показатели [5].

Практическая ценность данного подхода подтверждается исследованиями З.К. Авдеевой, Е.А. Гребенюк и С.В. Ковриги [5], которые применили НКК для прогнозирования спроса и себестоимости продукции на вторичном рынке металлургии. Созданная ими модель включала 56 факторов, связанных причинно-следственными связями, и охватывала полный цикл создания стоимости, включая рыночные параметры и макроэкономические индикаторы.

Таким образом, когнитивное моделирование на основе НКК представляет собой перспективный методологический инструмент для повышения точности прогнозирования в условиях высокой неопределенности и динамичности внешней среды. Это особенно актуально для крупных корпоративных структур, где управление сложными капиталоемкими проектами требует интеграции количественных данных с качественными экспертными оценками.

Цель работы

Настоящая работа направлена на разработку и апробацию подхода к использованию нечетких когнитивных карт для анализа и оценки влияния капитальных проектов на выручку компании. Основной задачей является повышение точности прогнозирования этих показателей за счет интеграции экспертных знаний и количественных данных, а также учета факторов неопределенности и нелинейности процессов. Предлагаемый подход ориентирован на поддержку принятия стратегически обоснованных решений, обеспечивающих адаптацию компаний к изменяющимся условиям внешней среды и повышение их устойчивости в долгосрочной перспективе.

Данные и методы исследования

Исследование базируется на разработке модели НКК, в основе которой используется финансово-эконо-

мическая модель, отражающей ключевые взаимосвязи между факторами, влияющими на финансово-экономические показатели группы компаний ПАО «Газпром». Эта модель позволяет учитывать неопределенность и нелинейность внешней среды, интегрируя экспертные знания с количественными данными, что обеспечивает высокую точность прогнозирования.

Процесс построения когнитивной модели основывается на формальном определении взаимосвязей между элементами, которые составляют целостную систему [7,8].

В данном случае модель системы S описывается следующим образом:

$$S = \{M_0(Y, U, P), M_E(X), M_D(Q), M_{MO}, M_{ME}, M_U, M_H, A, R\}$$

где M_0 , M_E — когнитивные модели (в работе данные модели объединены в одну общую), $M_0(Y, U, P)$ — модель сложной системы (финансово-экономическая модель), в ней Y — вектор эндогенных переменных (внутренние финансовые ресурсы компании), U — вектор управляющих переменных (планы добычи газа, газового конденсата и нефти по годам), P — вектор ресурсов (лицензии на месторождения), M_E — модель окружающей среды, в которой X — экзогенные переменные (кросс-курсы валют других стран, спотовые контракты и др.); $M_D(Q)$ — модель поведения системы (регрессия учитывающая изменения доходов в зависимости от курса доллара) Q — управляющие и возмущающие воздействия (обесценение рубля, внешние регуляторные ограничения НДПИ, ограничения по продажам валютной выручки и др.); для измерения состояния объекта и среды строятся модели M_{MO} и M_{ME} ; M_U — модель управления системой. Ввод в модель «наблюдателя» M_H , т.е. эксперта, принимающего решения, что необходимо для включения в процесс исследования сложной системы процессы познания человека; A — правила расширения системы S (добавление новых переменных в модель, внесение дополнительных источников данных); R — отношение между компонентами системы.

Объектами исследования выступают основные бизнес-направления Группы Газпром, включая нефтяной и электроэнергетический секторы, а также ключевые дочерние структуры компании, такие как ПАО «Мосэнерго», ПАО «ТГК-1», ПАО «ОГК-2» и ПАО «МОЭК». Источники данных включают консолидированную финансовую отчетность компании за 2019–2021 годы, подготовленную в соответствии с МСФО и РСБУ.

В процессе разработки НКК определялись причинно-следственные связи между основными факторами, такими как стоимость природного газа, динамика экспорта, курсовые изменения валют и логистические затраты.

Реализация модели в программной среде позволила смоделировать влияние этих факторов на ключевые финансово-экономические показатели компании, включая выручку, себестоимость, капитальные вложения и налоговые платежи.

Анализ данных охватывал три года ретроспективного периода с шагом дискретизации в один месяц, а также годовые значения для долгосрочного прогнозирования на последующие семь лет. Построение когнитивной карты проводилось с использованием информации из опубликованной отчетности компании, что позволило учитывать сценарные изменения в макроэкономической среде, такие как курсовые колебания и изменения спроса на энергоносители в различных регионах.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе исследования была разработана нечеткая когнитивная карта, позволяющая оценивать влияние ключевых факторов на финансово-экономические показатели группы компаний ПАО «Газпром». Основное достижение исследования заключается в интеграции экспертных знаний с ретроспективными данными и временными рядами для моделирования сложных причинно-следственных связей в условиях высокой неопределенности и динамики внешней среды.

Разработанная когнитивная карта объединяет данные из финансовой отчетности по МСФО и РСБУ за период 2019–2021 годов с оценками экспертов. В рамках карты были структурированы ключевые факторы, такие как стоимость природного газа, динамика экспортных объемов, внутренний спрос, курсовые колебания валют, транспортные затраты и капитальные вложения. Это позволило формализовать сложные взаимосвязи между факторами, включая временные лаги и обратные связи, что повысило качество анализа и прогнозирования.

Проведенное моделирование сценариев развития охватывало широкий спектр макроэкономических изменений. Рассматривались, например, рост мировых цен на энергоносители и связанное с этим увеличение экспортного спроса на газ, снижение внутреннего спроса из-за повышения себестоимости продукции, а также влияние курсовых колебаний валют и роста налоговой нагрузки. Результаты показали, что мировые цены на газ и экспортные ограничения оказывают значительное влияние на финансовую устойчивость группы. Увеличение экспортных поставок способствует росту выручки, но сопряжено с ростом транспортных затрат. Курсовые колебания, в свою очередь, имеют двойственное воздействие: рост курса рубля снижает прибыльность экспорта, но уменьшает стоимость импортного оборудования.

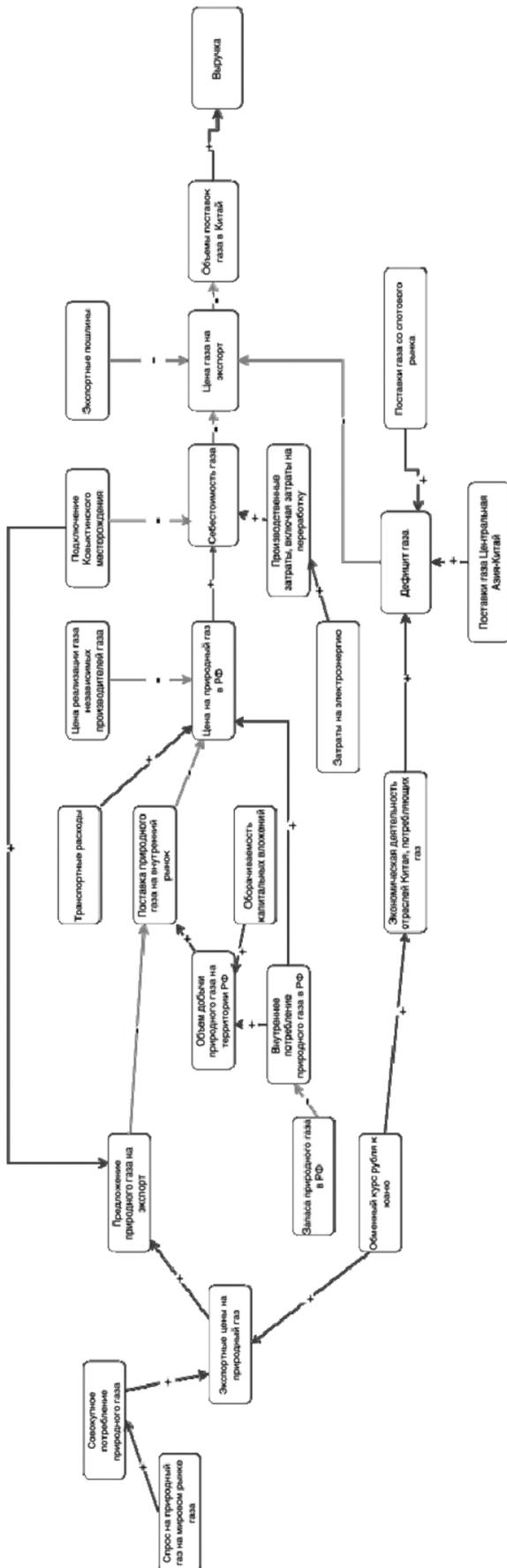


Рис. 1. Нечеткая когнитивная карта газового бизнеса без учета Европейского направления

Формирование НКК способствовало уточнению состава параметров эконометрической модели для прогнозирования курса доллара по отношению к курсу рубля. До уточнения состав множественной регрессионной модели был представлен следующими параметрами [9]:

$$y = 100.28 - 0.4x_1 + 0.003x_2 + 0.00x_3 - 0.0005x_4 - 0.028x_5$$

где

- динамика цен на нефть (x_1);
- уровень инфляции (x_2);
- объем иностранных инвестиций в РФ (x_3);
- объем совокупного экспорта (x_4);
- объем экспорта нефти (x_5).

В данной работе в регрессионную модель была добавлена газовая компонента, имеющую экономическую значимость:

- цена на природный газ на экспортных рынках (x_6);
- объем экспорта газа (x_7);
- цена на природный газ в РФ (x_8);
- индекс экономической активности стран экспортеров газа (суммарный) (x_9);
- загруженность трубопроводов (x_{10});
- объем валютных поступлений от продаж газа (x_{11}).

В данном случае, уравнение регрессии в этом случае приобретает следующий вид:

$$y = 109.12 + 0.457x_1 - 0.382x_2 + 0.010x_3 - 0.02x_4 - 0.109x_5 + 0.4x_6 + 0.269x_7 + 0.107x_8 + 3.786x_9 - 0.051x_{10} + 0.01x_{11}$$

Результат прогнозирования с использованием модели, построенной на основе НКК, представлен на рисунке 2.

Результаты сравнительного анализа значений, полученных автором с помощью модели НКК и регрессионной модели, с историческими данными, представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Средняя ошибка годового прогноза с помесячным разбиением, построенного разными моделями

Наименование модели	MAPE 2022	RMSE 2022
Исходная модель	13.03 %	6340.7
НКК	11.15 %	5418.4

Из таблицы видно, что применение НКК позволило повысить точность прогнозирования ключевых финансовых показателей на 14.5 % по RMSE и на 1.88 % по MAPE традиционной моделью. Данное улучшение стало возможным благодаря учёту нечетких зависимостей между факторами и интеграции качественных экспертных оценок. Выявленные критические точки влияния факторов позволили сформировать рекомендации для руководства компании, включая усиление экспортных поставок в Азиатско-Тихоокеанский регион, прогнозируемый как перспективный, оптимизацию транспортных затрат.

Полученные результаты демонстрируют высокую практическую ценность предложенной методологии. Её интеграция с существующими системами поддержки принятия решений позволяет оперативно реагировать на изменения внешней среды и корректировать стратегические планы компании. Например, в условиях роста мировых цен на энергоносители предложенная модель может быть использована для оценки целесообразности перенаправления поставок на более прибыльные рынки.

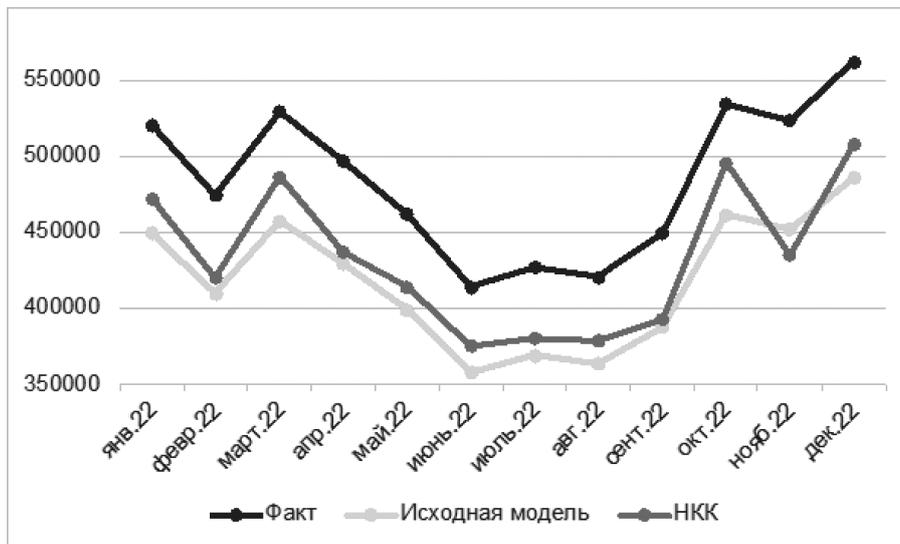


Рис. 2. Результат прогнозирования выручки по реализации газа в 2022 году

Заключение

В рамках проведенного исследования разработана НКК для оценки влияния капитальных проектов на финансово-экономические показатели крупной корпоративной структуры. Предложенная методология позволила интегрировать экспертные знания с ретроспективными данными и временными рядами, что обеспечило моделирование сложных причинно-следственных связей в условиях неопределенности и динамичной внешней среды.

Полученные результаты открывают перспективы для дальнейших исследований в области интеграции НКК

с платформенными решениями, применяемыми в системах поддержки принятия решений. Это позволит масштабировать использование НКК в других секторах экономики и повысить эффективность управления сложными системами.

Таким образом, предложенный подход обладает как теоретической, так и практической значимостью, обеспечивая инструментальную поддержку для стратегического планирования и устойчивого развития корпоративных структур в долгосрочной перспективе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Posmakov N.P., Emelyanenko A.S., Kireev V.S. Fuzzy Cognitive Map Ensembles to Solve Regression and Time Series Tasks // Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (ElConRus 2022), pp. 406–409, 2022, doi: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755460
2. Cheikhrouhou N. et al. A collaborative demand forecasting process with event-based fuzzy judgements // Computers & Industrial Engineering, vol. 61(2), pp. 409–421, 2011.
3. Fildes R., Goodwin P., Lawrence M. The design features of forecasting support systems and their effectiveness // Decision Support Systems, vol. 42(1), pp. 351–361, 2006.
4. Kosko B. Fuzzy cognitive maps // International journal of man-machine studies, vol. 24(1), pp. 65–75, 1986.
5. Avdeeva Z.K., Grebenyuk E.A., Kovriga S.V. Cognitive modelling-driven time series forecasting for predicting target indicators in non-stationary processes // IFAC-PapersOnLine, vol. 54(13), pp. 91–96, 2021.
6. Abramova N. et al. Subject-formal methods based on cognitive maps and the problem of risk due to the human factor // Cognitive maps. — IntechOpen, 2010.
7. Горелова Г.В. О развитии когнитивного моделирования в исследованиях сложных систем // Управление в экономических и социальных системах. 2019. №. 1. С. 11–26.
8. Кульба В.В. и др. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем // М.: ИПУ РАН. 2002. Т. 122.
9. Матвеева А.А. Прогнозирование курса доллара США на основании эконометрических моделей регрессии // Экономика и социум. 2016. №. 12–2 (31). С. 226–233.

ДИСКРЕТНЫЕ ИНВАРИАНТЫ В КЛАССЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ И ИХ ИНТЕГРИРОВАНИЕ

DISCRETE INVARIANTS IN THE CLASS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS AND THEIR INTEGRATION

Z. Khakimova
E. Shakhova

Summary. The class of ordinary differential equations of the 2nd Order with multiplier right-wing parts, as well as some discrete transformation closed on this class of equations, is viewed. The article discusses the method of discrete invariants. An invariant subclass in the studied class of equations relatively to this discrete transformation is found. With the help of the concomitant, the order of the equations of the invariant subclass is reduced, while the invariant subclass of the equations is led to an easily integrated class of equations.

The authors of the article managed to find the transformation, the reverse to the concomitant, due to which they managed to calculate the general decisions of all the invariant subclasses considered in the work.

The method of discrete invariants is applied to various multiplier classes of equations, including with power right parts with arbitrary parameters, as well as to a multiplier class with functional arbitrariness.

Keywords: An ordinary differential equation (ODE), a discrete group of transformations, the exact solution of the ODE, the invariant of discrete transformation, the conterior, the class of generalized equations of Emden-Fauler (GEFE).

Хакимова Зилия Наильевна

Кандидат физ.-мат. наук, доцент,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского
vka@mil.ru

Шахова Екатерина Анатольевна

Кандидат тех. наук, доцент,
Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

Аннотация. Рассматривается класс обыкновенных дифференциальных уравнений 2-го порядка с мультипликативными правыми частями, а также некоторое дискретное преобразование, замкнутое на данном классе уравнений. В статье обсуждается метод дискретных инвариантов. Ищется инвариантный подкласс в исследуемом классе уравнений относительно данного дискретного преобразования. С помощью конкомитанта понижается порядок уравнений инвариантного подкласса, при этом инвариантный подкласс уравнений приводится к легко интегрируемому классу уравнений.

Авторам статьи удалось найти преобразование, обратное конкомитанту, благодаря чему удалось вычислить общие решения всех инвариантных подклассов, рассмотренных в работе.

Метод дискретных инвариантов применён к различным мультипликативным классам уравнений, в том числе со степенными правыми частями с произвольными параметрами, а также к мультипликативному классу с функциональным произволом.

Ключевые слова: обыкновенное дифференциальное уравнение (ОДУ), дискретная группа преобразований, точное решение ОДУ, инвариант дискретного преобразования, конкомитант, класс обобщенных уравнений Эмдена-Фаулера (ОУЭФ).

Введение

В рамках дискретно-группового анализа (ДГА) обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), разработанного российским математиком В. Ф. Зайцевым [1], существует два метода нахождения точных решений уравнений: 1) метод «размножения» разрешимых случаев в исследуемом классе уравнений по найденной дискретной группе преобразований; 2) метод дискретных инвариантов.

С помощью метода «размножения» научной школой В. Ф. Зайцева проинтегрированы сотни и тысячи ОДУ различных типов, решения которых представлены, например, в справочниках [1–4]. Метод «размножения» хорошо алгоритмизирован.

Метод дискретных инвариантов значительно меньше разработан. Результаты в этом направлении пока до сих пор следует рассматривать как удачу. Тем более ещё далеко до алгоритмизации этого метода.

Указанному выше методу посвящено значительно меньше работ. Этот метод представлен, например, в работах [5, 1, 6]. Недавние работы по дальнейшему развитию метода дискретных инвариантов: см., например, [7, 8].

Метод «размножения» интегрируемых случаев в исследуемых классах уравнений основан на том факте, что уравнения и их решения связаны одними и теми же преобразованиями. Если для данного класса уравнений построена дискретная группа преобразований, замкнутых в этом классе уравнений, то знание решения одного уравнения позволяет вычислить решения всех остальных уравнений, связанных преобразованиями найденной дискретной группы. Достоинство этого метода — он алгоритмизирован и даёт прогноз разрешимости тех или иных уравнений. Недостаток: необходимо знание решения хотя бы одного уравнения, соответствующего одной из вершин графа построенной дискретной группы преобразований (дуги графа соответствуют конкретным преобразованиям, замкнутым в данном классе уравнений).

Метод дискретных инвариантов, в отличие от указанного выше метода, позволяет непосредственно находить решения уравнений — без требования редукции к одному из уравнений рассматриваемого класса.

Интегрирование точных инвариантов дискретных преобразований степенного вида

Рассмотрим класс обобщенных уравнений Эмдена-Фаулера (ОУЭФ) — класс ОДУ 2-го порядка степенного вида:

$$y''_{xx} = Ax^k y' (y'_x)^m, \tag{1}$$

имеющих множество приложений в нелинейной механике, астрофизике, химии и т.д. Будем обозначать его вектором параметров $(k, l, m | A)$.

Известно несколько дискретных преобразований [1], замкнутых в классе уравнений (1) или в его подклассах, в частности, точечное преобразование \mathbf{s} , замкнутое в классе уравнений

$$y''_{xx} = Ax^k y', (k, l, 0 | A), \tag{2}$$

который является подклассом класса уравнений (1) при $m = 0$:

$$\mathbf{s}: x \rightarrow \frac{1}{x}, y \rightarrow -\frac{y}{x},$$

$$(k, l, 0 | A) \rightarrow (-k - l - 3, l, 0 | (-1)^{l-1} A), \mathbf{s}^2 = \mathbf{E}. \tag{3}$$

Найдём точный инвариант дискретного преобразования \mathbf{s} в классе уравнений (2). Для этого приравняем соответствующие элементы вектора параметров исходного и преобразованного уравнений:

$$k = -k - l - 3, l = l,$$

откуда $k = -\frac{l+3}{2}$, что соответствует точному \mathbf{s} -инварианту (с точностью до коэффициента):

$$y''_{xx} = Ax^{-\frac{l+3}{2}} y'. \tag{4}$$

Уравнение (4) можно переписать в виде

$$y''_{xx} = A \left(x^{-\frac{1}{2}} y \right)^l x^{-\frac{3}{2}} \text{ или } x^{\frac{3}{2}} y''_{xx} = A \left(x^{-\frac{1}{2}} y \right)^l. \tag{5}$$

Добавим неопределенный множитель «а» в левую и правую части уравнения (5):

$$ax^{\frac{3}{2}} y''_{xx} = aA \left(x^{-\frac{1}{2}} y \right)^l. \tag{6}$$

Положим:

$$T = x^{-\frac{1}{2}} y, \dot{U}_T = ax^{\frac{3}{2}} y''_{xx}. \tag{7}$$

Поскольку

$$U'_x = T'_x \dot{U}_T = \frac{a}{2} (2xy'_x - y) y''_{xx}. \tag{8}$$

Интегрируя (8), получаем

$$U = \frac{a}{2} y'_x (xy'_x - y).$$

Пусть $a = 2$. С помощью преобразования

$$T = x^{-\frac{1}{2}} y, U = y'_x (xy'_x - y), \tag{9}$$

называемого конкомитантом — согласованным инвариантом дискретного преобразования (в данном случае \mathbf{s} -инвариантом), уравнение (6) перейдёт в уравнение 1-го порядка с разделяющимися переменными:

$$\dot{U}_T = 2AT^l. \tag{10}$$

Замечание 1. Функция U является точным \mathbf{s} -инвариантом, а функция T — \mathbf{s} -инвариантом с точностью до знака.

Общее решение уравнения (10) при $l \neq -1$:

$$U(T) = \frac{2A}{l+1} T^{l+1} + C_2. \tag{11}$$

Найдём преобразование, обратное к конкомитанту (9), рассматривая (9) как систему уравнений относительно x и y :

$$x = C_1^2 e^{2 \int \frac{dT}{\pm \sqrt{T^2 + 4U}}}, y = C_1 T e^{\int \frac{dT}{\pm \sqrt{T^2 + 4U}}}. \tag{12}$$

Если подставить (11) в (12), то получим общее решение \mathbf{s} -инвариантного уравнения (4).

Более общий класс степенных уравнений

Рассмотрим более общий, чем (1), класс степенных уравнений, введя в правую часть множитель $(xy'_x - y)^n$:

$$y''_{xx} = Ax^k y' (y'_x)^m (xy'_x - y)^n, \tag{13}$$

который при $n = 0$ содержит класс ОУЭФ (1). Будем обозначать этот класс уравнений $(k, l, m, n | A)$.

Замечание 2. Основанием для этого шага может служить то, что указанную скобку содержит функция U в конкомитанте (9).

Как оказалось [9, 10], преобразование \mathbf{s} , не замкнутое во всём классе уравнений (1), является замкнутым в (13):

$$\mathbf{s}: x \rightarrow \frac{1}{x}, y \rightarrow -\frac{y}{x},$$

$$(k, l, m, n | A) \rightarrow (-k - l - 3, l, n, m | (-1)^{l-1} A), \quad (14)$$

$$\mathbf{s}^2 = \mathbf{E}.$$

Аналогично предыдущему пункту, приравняем показатели соответствующих степеней:

$$k = -k - l - 3, l = l, m = n.$$

Таким образом, получается \mathbf{s} -инвариантное уравнение (с точностью до коэффициента A):

$$y''_{xx} = Ax^{\frac{l+3}{2}} y' (y'_x)^m (xy'_x - y)^m$$

или $\left(-\frac{l+3}{2}, l, m, m | (-1)^{l-1} A\right).$ (15)

Перепишем (15) следующим образом:

$$x^{\frac{3}{2}} y''_{xx} = A \left(x^{-\frac{1}{2}} y\right)' [y'_x (xy'_x - y)]^m. \quad (16)$$

Уравнение (16) с помощью того же конкомитанта (9) приводится к уравнению 1-го порядка

$$\dot{U}_T = 2AT^l U^m,$$

общее решение которого при $l \neq -1, m \neq 1$:

$$U(T) = \left[\frac{2(1-m)}{l+1} AT^{l+1} + C_2 \right]^{\frac{1}{1-m}}. \quad (17)$$

Композиция (12) и (17) является общим решением \mathbf{s} -инвариантного уравнения (16).

Интегрирование инварианта с произвольными функциями

Рассмотрим мультипликативное \mathbf{s} -инвариантное уравнение:

$$x^{\frac{3}{2}} y''_{xx} = f\left(x^{-\frac{1}{2}} y\right) g[y'_x (xy'_x - y)], \quad (18)$$

подклассами которого являются класс ОУЭФ (1) при $f(\alpha) = A\alpha^l, g(\beta) = 1$, и степенной класс уравнений (4) при $f(\alpha) = A\alpha^l, g(\beta) = \beta^n$.

С помощью конкомитанта (9) можно понизить порядок уравнения (18):

$$\dot{U}_T = 2f(T)g(U). \quad (19)$$

Общее решение уравнения (19):

$$U = G^{-1}(F(T)), F(T) = 2 \int f(T) dT + C_2,$$

$$G(Z) = \int \frac{dZ}{g(Z)} \quad (20)$$

(G^{-1} означает обратную функцию).

Композиция (12) и (20) является общим решением уравнения (18).

Заключение

В данной статье проинтегрированы точные \mathbf{s} -инвариантные классы уравнений степенного вида с одним или двумя параметрами, а также \mathbf{s} -инварианты с двухфункциональным произволом мультипликативного вида.

Интегрируемость некоторых из рассмотренных классов уравнений была обнаружена раньше [6]. В данной работе выписаны точные общие решения всех \mathbf{s} -инвариантных классов уравнений в удобном виде, благодаря тому, что одному из авторов статьи удалось найти преобразование (12), обратное к конкомитанту (9).

К дальнейшим перспективам можно отнести рассмотрение инвариантов других дискретных преобразований (в работах [7, 8] уже были рассмотрены инварианты другого дискретного преобразования: $x \rightleftharpoons y$).

Также в перспективе можно рассмотреть ОДУ других типов; кроме ОДУ 2-го порядка можно рассмотреть ОДУ более высокого порядка — например, 3-го.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зайцев В.Ф. Справочник по нелинейным дифференциальным уравнениям. Приложения в механике, точные решения / В.Ф. Зайцев, А.Д. Полянин — М.: Наука, 1993. — 464 с.
2. Polyanin A.D. Handbook of Exact Solutions for Ordinary Differential Equations / A. D. Polyanin, V. F. Zaitsev. — CRC Press, Boca Raton–New York, 2003.
3. Polyanin A.D. Handbook of Ordinary Differential Equations: Exact Solutions, Methods, and Problems / A. D. Polyanin, V. F. Zaitsev. — CRC Press. Boca Raton — London, 2018. — 1496 p. DOI: 10.1201/9781315117638
4. Зайцев В.Ф. Обыкновенные дифференциальные уравнения в 2 ч. Часть 1: справочник для вузов [Электронный ресурс] / В.Ф. Зайцев, А.Д. Полянин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 385 с. — URL: <https://urait.ru/bcode/537987> (дата обращения: 06.06.2024)

5. Аржанникова И.Ю. Современный групповой анализ: методы и приложения / И.Ю. Аржанникова, В.Ф. Зайцев, А.А. Малых, В.В. Попов, А. Перес Лопес, Е.Г. Фалилеева, А.В. Флегонтов, З.Н. Хакимова. — Л.: Препринт ЛИИА АН СССР, 1989. — №107. — 58 с.
6. Хакимова З.Н. Интегрирование дискретных инвариантов в классе полиномиальных дифференциальных уравнений 2-го порядка / З. Н. Хакимова // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, 2014 — С. 57–62.
7. Хакимова З.Н. Симметрии и интегрирование уравнений орбиты одного дискретно-инвариантного дифференциального уравнения второго порядка степенного вида / З.Н. Хакимова, М.А. Лисицына // Перспективы науки. — Тамбов: ТМБпринт. — 2024. — № 8 (179). — С. 51–55.
8. Хакимова З.Н. Интегрирование дифференциальных уравнений с помощью инвариантов дискретных преобразований [Электронный ресурс] / З.Н. Хакимова, А.А. Атоян // Дифференциальные уравнения и процессы управления. — 2024. — N 3. — С. 123–133. — URL: <https://diffjournal.spbu.ru/RU/numbers/2024.3/article.1.8.html> (дата обращения: 13.12.2024)
9. Хакимова З.Н. Классификация новых разрешимых случаев в классе полиномиальных дифференциальных уравнений / З.Н. Хакимова, О.В. Зайцев // Актуальные вопросы современной науки, №3. — СПб., 2014. — С. 3–11.
10. Хакимова З.Н. Дробно-полиномиальные дифференциальные уравнения: дискретные группы и решения через трансцендент 1-го уравнения Пенлеве [Электронный ресурс] / З.Н. Хакимова, О.В. Зайцев // Дифференциальные уравнения и процессы управления. — 2021. — N 1(4). — С. 61–92. — URL: <https://diffjournal.spbu.ru/RU/numbers/2021.1/article.1.4> (дата обращения: 20.05.2021)

© Хакимова Зиля Наильевна (vka@mil.ru); Шахова Екатерина Анатольевна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СКОРОСТИ СХОДИМОСТИ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО АДАПТИВНОГО И ТРАДИЦИОННОГО ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Черников Александр Владимирович

аспирант, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Москва
aleksandrchernikov98@gmail.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE CONVERGENCE RATE OF PARALLEL ADAPTIVE AND TRADITIONAL GENETIC ALGORITHMS

A. Chernikov

Summary. The article presents a comparative analysis of two popular optimization methods: the adaptive population algorithm and the traditional genetic algorithm. The main purpose of the study is to evaluate and compare the convergence rate of these two algorithms. The convergence rate is critically important for optimization problems, as it determines the effectiveness of the algorithm in achieving an optimal solution. As part of the study, several test functions were selected, covering a wide range of complexity, from simple non-convex to complex multimodal. This allowed for a comprehensive analysis, evaluating algorithms on a variety of data. Various parameters of the algorithms were considered, including population size, probability of mutation and crossover, as well as selection strategies. The results showed that adaptive population algorithms demonstrate a significant increase in the convergence rate on many test functions, especially in multimodal scenarios. Based on these observations, conclusions are drawn about the applicability and effectiveness of each approach in various areas of optimization. This study represents an important contribution to understanding the dynamics and effectiveness of adaptive and traditional approaches in optimization algorithms, highlighting their strengths and weaknesses in different settings.

Keywords: adaptive population algorithm, genetic algorithm, convergence rate, optimization, multimodal function.

Аннотация. В статье представлен сравнительный анализ двух популярных методов оптимизации: адаптивного популяционного алгоритма и традиционного генетического алгоритма. Основной целью исследования является оценка и сравнение скорости сходимости этих двух алгоритмов. Скорость сходимости критически важна для оптимизационных задач, поскольку она определяет эффективность алгоритма в достижении оптимального решения. В рамках исследования были выбраны несколько тестовых функций, охватывающих широкий спектр сложности, от простых невыпуклых до сложных мультимодальных. Это позволило провести всесторонний анализ, оценивая алгоритмы на разнообразных данных. Были рассмотрены различные параметры алгоритмов, включая размер популяции, вероятность мутации и кроссовера, а также стратегии отбора. Результаты показали, что адаптивные популяционные алгоритмы демонстрируют значительное повышение скорости сходимости на многих тестовых функциях, особенно в мультимодальных сценариях. На основе этих наблюдений делаются выводы о применимости и эффективности каждого подхода в различных областях оптимизации. Это исследование представляет собой важный вклад в понимание динамики и эффективности адаптивных и традиционных подходов в оптимизационных алгоритмах, подчеркивая их сильные и слабые стороны в разных условиях.

Ключевые слова: адаптивный популяционный алгоритм, генетический алгоритм, скорость сходимости, оптимизация, мультимодальная функция.

Введение

Поиск экстремумов нелинейных мультимодальных функций с ограничениями представляет собой ключевую задачу в области оптимизации, играющую критическую роль в различных сферах, таких как инженерное проектирование, экономический анализ, машинное обучение и другие области [1]. Эта задача призвана найти оптимальные решения в условиях, где целевые функции характеризуются наличием множества локальных экстремумов, что делает задачу особенно сложной и интересной для исследований.

Основной проблемой при работе с такими функциями является поиск их экстремумов, что требует особого

подхода в анализе и вычислительных методах [2]. В контексте оптимизационных задач широко используются популяционные алгоритмы, которые представляют собой мощный инструмент для исследования пространства решений [3, 4]. Эти алгоритмы, работая с группой потенциальных решений или популяцией, могут эффективно исследовать сложные пространства поиска [5], однако их эффективность во многом зависит от правильного выбора параметров. Задача выбора оптимальных параметров и проблема низкой скорости сходимости являются ключевыми аспектами, требующими внимания при использовании популяционных алгоритмов [6, 9–11].

Эксперименты, проведенные в рамках данной работы, включали тестирование алгоритма на различных ма-

тематических функциях в двумерном пространстве. Эти функции были выбраны из-за их разнообразия и способности демонстрировать различные вызовы, с которыми может столкнуться алгоритм при поиске экстремумов. Результаты этих экспериментов показывают значительное улучшение скорости сходимости по сравнению с традиционными методами.

Таким образом, предложенный адаптивный популяционный алгоритм представляет собой перспективное решение в области оптимизационных вычислений, открывая новые возможности для более эффективного решения сложных задач в различных областях науки и техники.

Адаптивные генетические алгоритмы

Адаптивные генетические алгоритмы — это разновидность генетических алгоритмов, которые динамически корректируют свои параметры для повышения производительности. Они разработаны для удовлетворения потребности в тщательной настройке традиционных генетических алгоритмов, при этом не отнимающей много времени. Было показано, что адаптивные алгоритмы эффективны при решении сложных задач и могут привести к значительному повышению производительности по сравнению с неадаптивными генетическими алгоритмами [21, 22]. Адаптация (настройка) в адаптивных алгоритмах может включать: динамическую автоконфигурацию параметров алгоритма генетического поиска, гибридное кодирование, стратегии элитарности и стратегии разнообразия популяции. Исследования [17-20] продемонстрировали эффективность и надежность адаптивных алгоритмов в различных задачах оптимизации и поиска. Адаптивные алгоритмы считаются многообещающим и значимым вариантом генетических алгоритмов, особенно для моделирования сложных адаптивных систем и эволюционных процессов.

Адаптивные генетические алгоритмы, несмотря на вышеописанные преимущества, также имеют и некоторые недостатки. Одним из основных недостатков является проблема выбора параметров алгоритма, которая может быть сложной из-за большого спектра возможных параметров, которые необходимо настроить. Кроме того, адаптивные генетические алгоритмы могут быть дорогостоящими с точки зрения вычислений, особенно при решении крупномасштабных задач. Другим недостатком является то, что адаптивные генетические алгоритмы не всегда могут сходиться к глобальному оптимальному решению, и существует вероятность преждевременной сходимости. Однако эти недостатки могут быть смягчены тщательной настройкой параметров и использованием соответствующих стратегий отбора [23]. В целом преимущества адаптивных генетических алгоритмов перевешивают их недостатки.

Описание разработанного адаптивного алгоритма

Предложенный адаптивный алгоритм подбора и калибровки параметров параллельного популяционного алгоритма, основанный на серии взаимосвязанных шагов [16], представляет собой перспективный подход к оптимизации, позволяющий повысить эффективность поиска экстремумов нелинейных мультимодальных функций. Важным аспектом данного алгоритма является его способность к самонастройке, что позволяет адаптироваться к изменяющимся условиям оптимизационной задачи. Ниже представлено подробное описание каждого шага алгоритма:

Шаг 1: Инициализация параметров алгоритма. Инициализация является первым и самым важным этапом, на котором устанавливаются основные параметры работы алгоритма. Эти параметры включают в себя определение размера популяции, максимального количества итераций, вероятности кроссовера и шанс мутации. Эти параметры могут быть установлены вручную, основываясь на предварительном опыте или предыдущих исследованиях, либо же заданы автоматически с использованием опыта предыдущих испытаний, проводимых в системе. В случае автоматического подхода, система пользуется расчетом расстояния Левенштейна для определения степени схожести между текущей задачей оптимизации и предыдущими случаями, которые хранятся в базе данных, что позволяет адаптировать параметры алгоритма более эффективно. Также для алгоритма сохраняется история задания параметров алгоритма для последующего использования.

Шаг 2: Генерация начальной популяции. На втором шаге происходит создание начальной популяции решений. Эти решения генерируются случайным образом, но при этом удовлетворяют всем заданным ограничениям. Например, ограничения типа диапазона значений переменных, специфические условия задачи или другие факторы, которые определяют допустимость решения. Инициализация начальной популяции также является одним из ключевых моментов, поскольку от нее зависит разнообразие и потенциальная эффективность последующего поиска решений.

Шаг 3: Определение лучшего решения. На этом этапе каждое решение из популяции оценивается на основе целевой функции задачи оптимизации. Целевая функция определяет пригодность каждого решения — чем меньше значение функции, тем лучше решение (для задач минимизации). Из всей популяции отбираются наилучшие решения, которые показывают лучшую пригодность. В процессе поиска оптимального решения из сгенерированной популяции выбираются решения с наилучшей пригодностью.

Шаг 4: Скрещивание (кроссовер или кроссинговер). На этом шаге из текущей популяции случайным образом выбираются два родительских решения. Далее происходит процесс комбинирования их генетического материала для создания новых потомков. Этот процесс может быть выполнен различными способами, включая одно-точечный, двухточечный или равномерный кроссовер. В результате кроссовера образуются потомки, которые унаследуют характеристики обоих родителей, что может привести к появлению решений, сочетающих в себе их лучшие черты. Это позволяет популяции обогатиться новыми и, возможно, более пригодными индивидами.

Шаг 5: Мутация. Мутация — это процесс случайного изменения генетического материала отдельного решения в популяции. Этот процесс выполняется с некоторой малой вероятностью и является фундаментальным для внесения разнообразия в популяцию. Мутация может изменять один или несколько генов в генотипе индивида, что приводит к появлению новых характеристик. Это может помочь алгоритму избежать застревания в локальных минимумах, исследовать неизведанные области пространства решений и повысить общую способность популяции к адаптации. Важно правильно балансировать вероятность мутации, чтобы избежать чрезмерной случайности и сохранить полезные характеристики, накопленные в процессе эволюции.

Шаг 6: Генерация новой популяции. На этом шаге происходит создание новой популяции, которая заменяет текущую. В этом процессе используются подстроенные параметры основного алгоритма, включая скорость кроссовера, вероятность мутации и методы отбора. Новая популяция формируется путем отбора наиболее пригодных индивидов из старой популяции, а также включения новых потомков, полученных в результате кроссовера и мутации. Важным аспектом является управление размером популяции, что может включать в себя стратегии, такие как элитизм (сохранение лучших индивидов) или генерационное обновление (замена всей популяции). Этот этап обеспечивает дальнейшее развитие популяции и является важным аспектом для постепенного улучшения качества найденных решений.

Шаг 7: Проверка критерия останова. На этом этапе алгоритм проверяет, выполнены ли условия для завершения работы. Критерии могут включать достижение заданного уровня точности решения, превышение максимального числа итераций или отсутствие значительного улучшения решения за определенное количество шагов. Если условия останова выполнены, алгоритм завершается и возвращает наилучшее найденное решение. Этот механизм предотвращает бесконечные вычисления и обеспечивает возврат оптимизированного результата. Если выполняется критерий останова, то алгоритм завершает работу и возвращает лучшее найденное решение. В противном случае алгоритм переходит на шаг 8.

Шаг 8: Обновление истории параметров алгоритма. На данном этапе происходит запись текущих значений всех параметров алгоритма, а также соответствующих значений пригодности решения. Это включает в себя детальный анализ каждого параметра, таких как вероятность мутации, размер популяции, скорость селекции и другие. Сохранение этой истории позволяет алгоритму анализировать свое прошлое поведение и оптимизировать дальнейшие действия.

Шаг 9. Оценка весов параметров на основании истории. На этом шаге алгоритм анализирует прошлую эффективность каждого параметра, чтобы определить, какие из них наиболее успешно способствовали нахождению оптимальных решений. Этот процесс включает в себя сложную статистическую обработку и анализ данных, чтобы выявить тенденции и закономерности в поведении параметров. В этом контексте используется популяционный алгоритм, где популяцией являются исторические данные о параметрах, а функцией пригодности — качество решения, полученное с использованием конкретного набора параметров. На основе этого анализа алгоритм может корректировать величину изменения параметров для следующих итераций, что повышает шансы на более эффективное нахождение оптимального решения.

Шаг 10. Калибровка и запуск основного алгоритма. Затем проводится подстройка параметров основного алгоритма путем изменения значений вероятности кроссовера, вероятности мутации и других параметров в соответствии с текущей историей параметров алгоритма. В результате калибровки получают новые значения внутренних параметров, которые затем передаются основному алгоритму для решения задачи поиска экстремума заданной функции.

В целом, данный подход позволяет создать более гибкий и адаптивный инструмент для решения сложных оптимизационных задач, предоставляя значительные преимущества по сравнению с традиционными методами.

Методология эксперимента

В рамках исследования были проведены серии экспериментов, направленные на оценку эффективности адаптивного параллельного популяционного алгоритма в сравнении с традиционным параллельным популяционным алгоритмом с фиксированными параметрами. Целью этих экспериментов было выяснить, какие из алгоритмов показывает лучшую скорость сходимости в задачах поиска экстремумов нелинейных мультимодальных функций.

Оба алгоритма были настроены с четырьмя генетическими алгоритмами, работающими параллельно. Каж-

дый генетический алгоритм обменивался некоторым количеством лучших решений с остальными тремя, что способствовало обмену информацией и улучшению решений в каждом из алгоритмов.

Базовый размер популяции для каждого из генетических алгоритмов составлял 1000 особей. Применялся турнирный метод селекции с вероятностью мутации 5 %. Скрещивание было многоточечным, что предоставляло большую генетическую разнообразность внутри популяции.

Поиск решений осуществлялся в двумерном пространстве с переменными X и Y , каждая из которых варьировалась в диапазоне от -100 до 100 . Это позволяло оценить способность алгоритмов работать в широком пространстве решений.

Эксперименты проводились в разработанной системе оптимизации математических функций на персональной ЭВМ с характеристиками: ЦП Intel Core i7-12700, тактовая частота 2,7 ГГц; оперативная память 64 Гб. Это обеспечивало достаточную вычислительную мощность для проведения экспериментов.

Для исследования были выбраны четыре математических функций: Растригина, Розенброка, Леви, Химмельблау. Для удобства проведения экспериментов, направленных на оценку эффективности адаптивного параллельного популяционного алгоритма в сравнении с традиционным параллельным популяционным алгоритмом с фиксированными параметрами, оптимизируемые функции были разделены на две группы — группу функций с высокой сложностью и группу функций с низкой сложностью. Функции определялись как принадлежащие одной из групп после оценки сложности ландшафта, количества локальных минимумов и общей сложности формы функции.

Группа с низкой сложностью включает функцию Розенброка и функцию Химмельблау. Эти функции имеют более простой ландшафт с меньшим количеством локальных минимумов, что облегчает задачу оптимизации.

Функция Розенброка, также известная как «бананная функция», она имеет извилистую форму с четко выраженным глобальным минимумом. Хотя она и представляет собой сложную задачу для некоторых алгоритмов из-за узкой долины, ведущей к минимуму, в целом она менее сложна по сравнению с другими функциями. Функция часто используется для проверки способности алгоритмов оптимизации следовать сложным путям к минимуму.

Функция Химмельблау имеет несколько локальных минимумов, но они являются относительно легкими для

определения. Ее ландшафт сравнительно простой, с четкими областями минимумов. Функция часто используется для демонстрации эффективности алгоритмов оптимизации в нахождении множественных решений. Функция имеет сравнительно плоский и простой ландшафт. Подходит для начального этапа тестирования алгоритмов, чтобы убедиться в их способности находить базовые решения.

Группа с высокой сложностью включает функцию Растригина и функцию Леви. В этих функциях ландшафт содержит множество локальных минимумов, что и делает задачу оптимизации более сложной.

Функция Растригина характеризуется большим количеством локальных минимумов, расположенных периодически. Это делает ее одной из самых сложных функций для глобальной оптимизации, так как легко «застрять» в локальном минимуме. Оптимальное решение находится в центре, но из-за волновой структуры поверхности найти его бывает непросто.

Функция Леви сложна из-за своего множества локальных минимумов и резких изменений в ландшафте функции. Она имеет характерные «волновые» узоры, которые затрудняют нахождение глобального минимума. Поверхность функции имеет несколько «долин» и «гребней», что добавляет сложности в процесс оптимизации.

Это разделение позволяет сравнивать, разработанный адаптивный параллельный генетический алгоритм справляется с различной степенью сложности ландшафта функций. Такой подход помогает определить, насколько быстро алгоритм может сходиться при поисках глобальных минимумов в условиях с низкой и высокой сложностью ландшафта.

Оптимизация функций с низкой сложностью

Функция Розенброка для двумерного пространства:

$$f(x, y) = (1 - x)^2 + 100(y - x^2)^2$$

Функция Розенброка [25] — невыпуклая функция, которая была разработана и предложена Ховардом Розенброком в 1960 году. Также считается классической функцией, используемой для проверки эффективности стохастических популяционных алгоритмов. Считается, что поиск глобального минимума для данной функции является нетривиальной задачей.

В общем виде формула имеет вид:

$$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} \left[(1 - x_i^2) + 100(x_{i+1} - x_i^2)^2 \right]$$

Функция Розенброка имеет глобальный экстремум в точках:

$$\begin{cases} f(1,1) = 0, n = 2 \\ f(1,1,1) = 0, n = 3 \\ f(1, \dots, 1) = 0, n > 3 \end{cases}$$

где n — это размерность пространства.

На рисунке 1 изображен 3D график поверхности функции Розенброка.

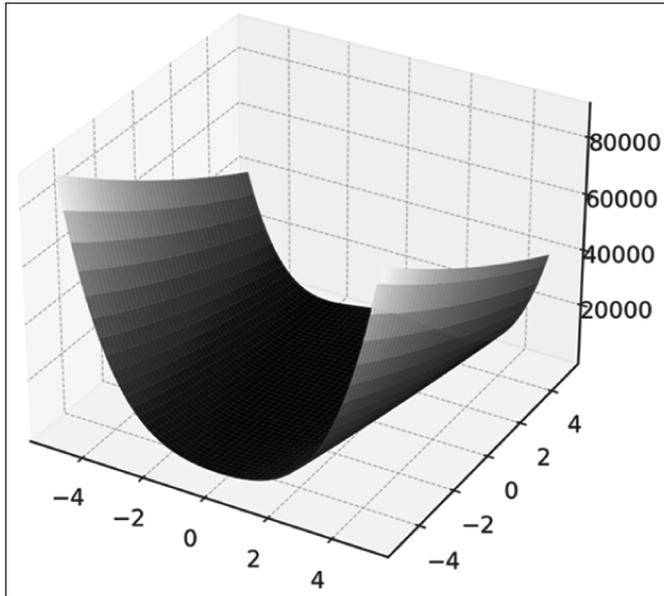


Рис. 1. 3D график поверхности функции Розенброка

Функция Химмельблау:

$$f(x, y) = (x^2 + y - 11)^2 + (x + y^2 - 7)^2$$

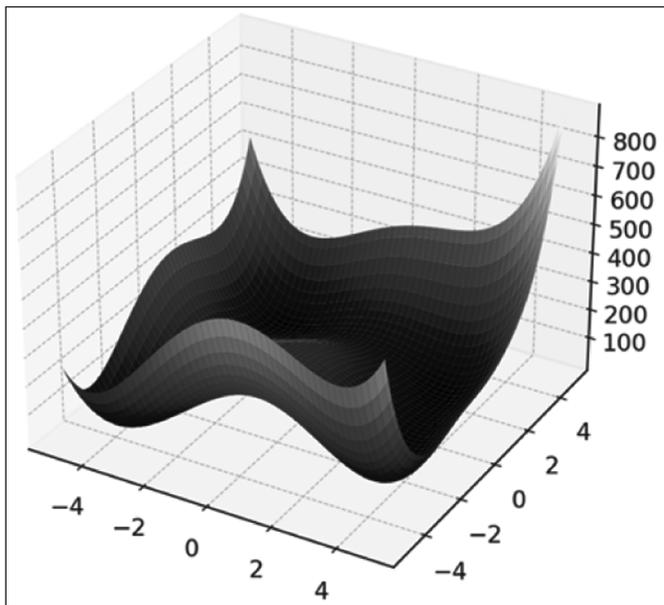


Рис. 2. 3D график поверхности функции Химмельблау

Функция Химмельблау [26] — функция, названная в честь Дэвида Мотнера Химмельблау, который впервые ее использовал в 1972 году. Функция представлена только для двумерного пространства и не имеет расширения на большие размерности области поиска. Является мультимодальной, имеет несколько обманых минимумов и только одну точку глобального экстремума.

Функция Химмельблау имеет глобальные экстремумы в точках:

$$\begin{cases} f(3.0, 2.0) = 0 \\ f(-2.805118, 3.131312) = 0 \\ f(-3.779310, -3.283186) = 0 \\ f(3.584428, -1.848126) = 0 \end{cases}$$

Оптимизация функций с высокой сложностью

Функция Леви:

$$f(x, y) = \sin^2(3\pi x) + (x - 1)^2(1 + \sin^2(3\pi y)) + (y - 1)^2(1 + \sin^2(2\pi y))$$

Функция Леви [29] определена в двумерном пространстве и представляет собой непрерывную, мультимодальную дифференцируемую функцию.

Глобальный экстремум функции Леви находится в точке:

$$f(1, 1) = 0$$

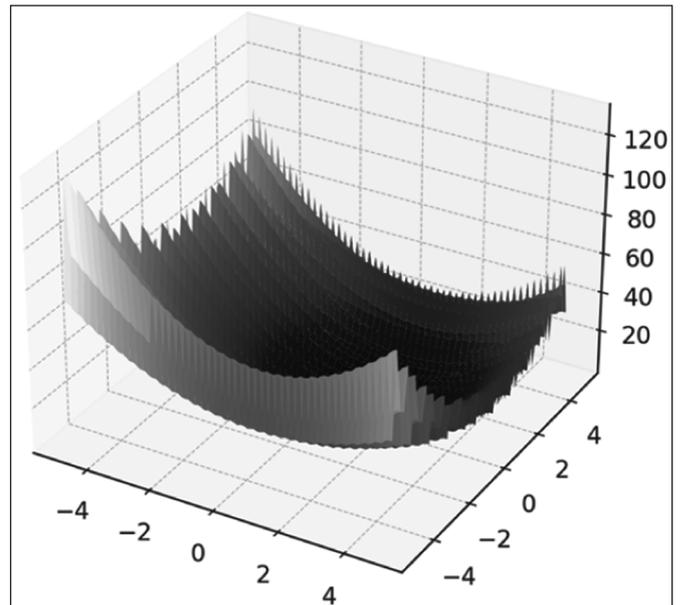


Рис. 3. 3D график поверхности функции Леви

Функция Растригина:

$$f(x, y) = 10n + (x^2 - 10 \cos(2\pi x)) + (y^2 - 10 \cos(2\pi y))$$

Функция Растригина [30] — невыпуклая функция, предложенная в 1974 году Леонардом Растригиным как функция двух переменных и используемая для тестирования эффективности алгоритмов оптимизации. Эта функция является классическим примером нелинейной мультимодальной функции. Отличительной особенностью является то, что функция обобщена на высшие размерности. Нахождение минимума этой функции принято считать достаточно трудной и нетривиальной задачей из-за большого числа локальных минимумов и широкой области поиска.

Функция Растригина имеет глобальный экстремум в точках:

$$\begin{cases} f(0,0) = 0, n = 2 \\ f(0,0,0) = 0, n = 3 \\ f(0,\dots,0) = 0, n > 3 \end{cases}$$

где n — это размерность пространства.

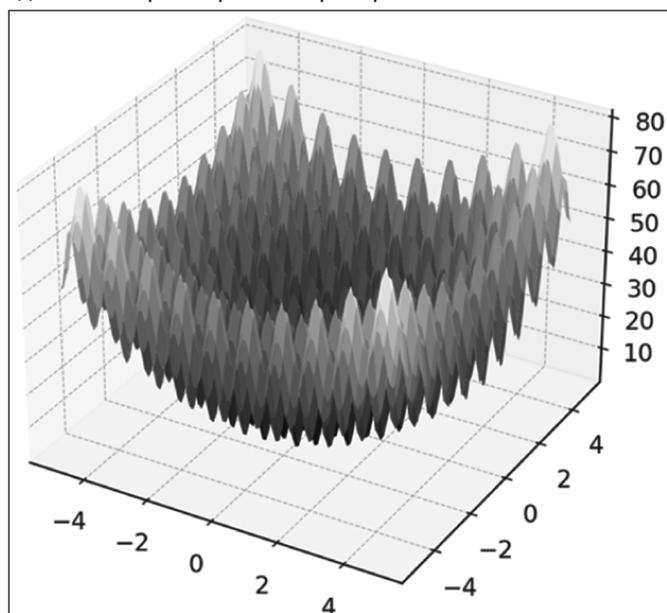


Рис. 4. 3D график поверхности функции Растригина

Эксперименты и результаты

Для функций критерий останова был задан точностью по значению функции. Для функции Розенброка был выбран диапазон $[0, 5]$, для функции Химмельблау $[0, 20]$, для функции Леви $[0, 10]$, а для функции Растригина $[2, 10]$.

В таблицы занесены результаты из десяти экспериментов на функциях с низкой сложностью поверхности, проведенных в соответствии с описанной методологией.

Средние значения результатов и число итераций для каждого из алгоритмов по каждой из оптимизируемых функций занесены в таблицу 5.

Выводы по проделанному исследованию

Из таблицы видно, что проведено сравнение двух типов алгоритмов — параллельного генетического алгоритма и параллельного адаптивного алгоритма — на четырёх разных функциях: функция Розенброка, функция Химмельблау, функция Леви и функция Растригина.

Функция Розенброка:

Параллельный адаптивный алгоритм показал немного лучший средний результат (3,279 против 3,211), но требовал меньше итераций для достижения результата (70,4 против 103,3).

Функция Химмельблау:

Здесь также адаптивный алгоритм показал лучший средний результат (9,773 против 11,902) с меньшим числом итераций (135,1 против 115,8).

Функция Леви:

Адаптивный алгоритм не только достиг лучшего среднего результата (3,996 против 4,538), но и существенно сократил количество итераций (293,5 против 317).

Функция Растригина:

Адаптивный алгоритм дал значительно лучший средний результат (7,117 против 6,91), при этом требуя меньше итераций (277,2 против 299,6).

Общий анализ показывает, что параллельный адаптивный алгоритм систематически превосходит параллельный генетический алгоритм по качеству результатов и эффективности в смысле числа итераций и скорости сходимости. Это может свидетельствовать о более высокой адаптивности и эффективности адаптивных методов в задачах оптимизации на различных типах функций, что делает его предпочтительным выбором в ситуациях, когда необходимо достигнуть высокой точности при минимальных вычислительных затратах.

Заключение

Данные результаты демонстрируют превосходство параллельного адаптивного алгоритма по сравнению с традиционным параллельным генетическим алгоритмом в контексте рассмотренных оптимизационных задач. Это подчеркивает важность разработки и использования адаптивных подходов для улучшения эффективности алгоритмов оптимизации.

Данное исследование может быть использовано для дальнейшего улучшения и адаптации алгоритмов, а также для исследования их поведения на других типах функций или при различных условиях испытаний.

Таблица 1.

Результаты оптимизации функции Розенброка

Номер запуска	Параллельный генетический алгоритм				Параллельный адаптивный алгоритм			
	X	Y	Значение	Число итераций	X	Y	Значение	Число итераций
Запуск 1	1.24	1.37	2.83	87	1.42	2.18	2.64	51
Запуск 2	1.18	1.21	3.36	83	-1.00	1.02	4.02	66
Запуск 3	-0.05	-0.16	3.72	121	0.48	0.37	2.19	99
Запуск 4	1.41	1.82	3.00	82	-0.25	-0.10	4.29	73
Запуск 5	0.07	0.19	4.39	62	-0.25	-0.09	3.95	67
Запуск 6	-0.60	0.36	2.55	96	-0.77	0.61	3.15	54
Запуск 7	0.32	0.25	2.60	104	0.56	0.48	3.07	50
Запуск 8	1.28	1.81	2.65	111	0.70	0.34	2.21	109
Запуск 9	0.48	0.03	4.32	150	-1.04	1.01	4.66	62
Запуск 10	0.11	-0.12	2.69	137	-0.32	0.01	2.61	73

Таблица 2.

Результаты оптимизации функции Химмельблау

Номер запуска	Параллельный генетический алгоритм				Параллельный адаптивный алгоритм			
	X	Y	Значение	Число итераций	X	Y	Значение	Число итераций
Запуск 1	-3.44	-3.44	8.74	130	3.23	-1.40	7.27	124
Запуск 2	-3.18	-3.17	16.37	121	3.36	1.96	5.09	91
Запуск 3	-4.12	-3.04	11.88	69	3.55	2.04	13.98	163
Запуск 4	3.29	-1.43	5.4	122	3.14	-2.18	11.66	139
Запуск 5	2.07	2.29	19.73	77	3.58	-0.71	9.77	59
Запуск 6	3.63	1.23	15.1	162	2.51	2.55	8.62	65
Запуск 7	3.17	0.55	12.56	67	2.92	2.90	18.68	177
Запуск 8	-1.90	3.14	18.81	105	3.51	-1.83	0.27	235
Запуск 9	2.98	1.50	3.49	198	3.38	-0.31	12.4	139
Запуск 10	3.90	-1.62	6.94	107	3.50	-2.53	9.99	159

Таблица 3.

Результаты оптимизации функции Леви

Номер запуска	Параллельный генетический алгоритм				Параллельный адаптивный алгоритм			
	X	Y	Значение	Число итераций	X	Y	Значение	Число итераций
Запуск 1	1,39	0,59	0,71	417	-1,31	0,26	8,86	116
Запуск 2	0,61	1,25	0,64	447	1,24	1,37	0,86	288
Запуск 3	-0,26	1,71	3,22	184	2,18	0,74	3,07	256
Запуск 4	2,79	1,85	8,42	312	1,38	0,83	0,50	467

Номер запуска	Параллельный генетический алгоритм				Параллельный адаптивный алгоритм			
	X	Y	Значение	Число итераций	X	Y	Значение	Число итераций
Запуск 5	1,11	-0,36	3,67	280	2,32	-0,17	5,89	137
Запуск 6	-1,45	0,98	7,09	240	1,56	0,37	1,64	368
Запуск 7	2,82	1,65	5,06	138	1,63	-0,04	1,71	398
Запуск 8	2,64	2,37	5,93	312	0,14	-0,43	4,55	205
Запуск 9	0,59	2,53	3,22	430	-1,11	0,05	7,20	232
Запуск 10	1,97	-0,86	7,42	410	-0,54	1,53	5,68	468

Таблица 4.

Результаты оптимизации функции Растригина

Номер запуска	Параллельный генетический алгоритм				Параллельный адаптивный алгоритм			
	X	Y	Значение	Число итераций	X	Y	Значение	Число итераций
Запуск 1	1,04	2,13	9,04	236	0,96	1,83	9,59	311
Запуск 2	-1,90	0,09	6,98	230	2,96	-0,02	9,12	126
Запуск 3	-0,03	-2,04	4,61	467	0,85	-1,02	5,73	163
Запуск 4	1,12	0,03	4,20	424	0,06	1,14	5,70	337
Запуск 5	3,02	0,03	9,33	363	0,93	-1,03	3,00	307
Запуск 6	0,79	-0,08	9,43	181	-0,02	-0,83	5,92	371
Запуск 7	2,02	2,07	9,47	209	2,02	-2,08	9,58	295
Запуск 8	0,12	0,02	2,61	173	1,10	0,13	6,42	183
Запуск 9	-1,04	1,19	8,89	439	0,95	0,82	7,77	328
Запуск 10	0,03	1,95	4,54	274	-0,20	0,95	8,34	351

Таблица 5.

Сводная таблица средних результатов алгоритмов

	функция Розенброка		функция Химмельблау		функция Леви		функция Растригина	
	Средний результат	Среднее число итераций	Средний результат	Среднее число итераций	Средний результат	Среднее число итераций	Средний результат	Среднее число итераций
Параллельный генетический алгоритм	3,211	103,3	11,902	115,8	4,538	317	6,91	299,6
Параллельный адаптивный алгоритм	3,279	70,4	9,773	135,1	3,996	293,5	7,117	277,2

ЛИТЕРАТУРА

1. Skiena S.S. The data science design manual. — Springer, 2017.
2. Deb K. Multi-objective optimisation using evolutionary algorithms: an introduction //Multi-objective evolutionary optimisation for product design and manufacturing. — London: Springer London, 2011. — C. 3–34.
3. Reeves C.R. Genetic algorithms //Handbook of metaheuristics. — 2010. — C. 109–139.
4. Yang X.S. Nature-inspired optimization algorithms: Challenges and open problems //Journal of Computational Science. — 2020. — T. 46. — C. 101104.
5. Coello C.A. C. Evolutionary multi-objective optimization: a historical view of the field //IEEE computational intelligence magazine. — 2006. — T. 1. — №. 1. — C. 28–36.
6. Knowles J.D., Corne D.W. Approximating the nondominated front using the Pareto archived evolution strategy //Evolutionary computation. — 2000. — T. 8. — №. 2. — C. 149–172.
7. Wang L., Wang T., Luo Y. Improved non-dominated sorting genetic algorithm (NSGA)-II in multi-objective optimization studies of wind turbine blades //Applied Mathematics and Mechanics. — 2011. — T. 32. — №. 6. — C. 739–748.
8. Emmerich M.T.M., Deutz A.H. A tutorial on multiobjective optimization: fundamentals and evolutionary methods //Natural computing. — 2018. — T. 17. — C. 585–609.
9. Leguizamón G., Blum C., Alba E. Evolutionary computation //Handbook of approximation algorithms and metaheuristics. — Chapman and Hall/CRC, 2018. — C. 379–394.
10. Shi Y. et al. Condition-based maintenance optimization for multi-component systems subject to a system reliability requirement //Reliability Engineering & System Safety. — 2020. — T. 202. — C. 107042.
11. Kochergin V. et al. Optimization of technical monitoring processes //Transportation Research Procedia. — 2021. — T. 54. — C. 166–172.
12. Rahimi I. et al. A review on constraint handling techniques for population-based algorithms: from single-objective to multi-objective optimization //Archives of Computational Methods in Engineering. — 2023. — T. 30. — №. 3. — C. 2181–2209.
13. Melhem F.Y. Optimization methods and energy management in smart grids»: дис. — Université Bourgogne Franche-Comté, 2018.
14. Chekanin V.A., Chekanin A.V. Solving the problem of dense packing of objects of complex geometry //Advances in Mechanical Engineering: Selected Contributions from the Conference «Modern Engineering: Science and Education», Saint Petersburg, Russia, June 2021. — Cham: Springer International Publishing, 2021. — C. 108–116.
15. Talatahari S., Azizi M., Toloo M. Fuzzy adaptive charged system search for global optimization //Applied soft computing. — 2021. — T. 109. — C. 107518.
16. Chekanin V.A., Chekanin A.V. Design of library of metaheuristic algorithms for solving the problems of discrete optimization //Advances in Mechanical Engineering: Selected Contributions from the Conference «Modern Engineering: Science and Education», Saint Petersburg, Russia, June 2017. — Springer International Publishing, 2018. — C. 25–32.
17. Sudholt D. The benefits of population diversity in evolutionary algorithms: a survey of rigorous runtime analyses //Theory of evolutionary computation: Recent developments in discrete optimization. — 2020. — C. 359–404.
18. Lambora A., Gupta K., Chopra K. Genetic algorithm-A literature review //2019 international conference on machine learning, big data, cloud and parallel computing (COMITCon). — IEEE, 2019. — C. 380–384.
19. Manzoni L., Mariot L., Tuba E. Balanced crossover operators in genetic algorithms //Swarm and Evolutionary Computation. — 2020. — T. 54. — C. 100646.
20. Katoch S., Chauhan S. S., Kumar V. A review on genetic algorithm: past, present, and future //Multimedia tools and applications. — 2021. — T. 80. — C. 8091–8126.
21. Shigekawa E. et al. The current state of telehealth evidence: a rapid review //Health Affairs. — 2018. — T. 37. — №. 12. — C. 1975–1982.
22. Rahman M. A. et al. Nature-inspired metaheuristic techniques for combinatorial optimization problems: Overview and recent advances //Mathematics. — 2021. — T. 9. — №. 20. — C. 2633.
23. Han S., Xiao L. An improved adaptive genetic algorithm //SHS web of conferences. — EDP Sciences, 2022. — T. 140. — C. 01044.
24. Lin C. An adaptive genetic algorithm based on population diversity strategy //2009 Third International Conference on Genetic and Evolutionary Computing. — IEEE, 2009. — C. 93–96.
25. Tani L. et al. Evolutionary algorithms for hyperparameter optimization in machine learning for application in high energy physics //The European Physical Journal C. — 2021. — T. 81. — C. 1–9.
26. Karlsen M.R., Moschogiannis S. Evolution of control with learning classifier systems //Applied network science. — 2018. — T. 3. — C. 1–36.
27. Cao T. et al. Function and mechanisms of truncated BDNF receptor TrkB. T1 in neuropathic pain //Cells. — 2020. — T. 9. — №. 5. — C. 1194.
28. Kargar R., Ebadian A., Sokół J. On Booth lemniscate and starlike functions //Analysis and Mathematical Physics. — 2019. — T. 9. — C. 143–154.
29. Sayas F.J., Brown T.S., Hassell M.E. Variational techniques for elliptic partial differential equations: Theoretical tools and advanced applications. — CRC Press, 2019.
30. Omeradzic A., Beyer H.G. Progress rate analysis of evolution strategies on the rastrigin function: First results //International Conference on Parallel Problem Solving from Nature. — Cham: Springer International Publishing, 2022. — C. 499–511.
31. Han W. et al. Global-simplex optimization algorithm applied to FEM-based optimal design of electric machine //IEEE Transactions on Magnetics. — 2017. — T. 53. — №. 6. — C. 1–4.
32. Gajawada S., Mustafa H.M.H. Testing Multiple Strategy Human Optimization based Artificial Human Optimization Algorithms //Computer Reviews Journal. — 2018. — T. 1. — №. 2.

© Черников Александр Владимирович (aleksandrchernikov98@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПОСТРОЕНИЕ КРИВОЙ IS НА ОСНОВЕ МАКРОЭКОНОМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ЭКОНОМИКИ РОССИИ 2011–2022 (I КВАРТАЛ) С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTHON ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КОМПОНЕНТ МОДЕЛИ

Щеголев Алексей Владимирович

Соискатель, АО «НПЦ АСПЕКТ» Дубна
alexeyshchegolev@yandex.ru

CONSTRUCTION OF THE IS CURVE BASED ON MACROECONOMIC DATA OF THE RUSSIAN ECONOMY 2011–2022 (I QUARTER) USING PYTHON FOR PRIMARY DATA ANALYSIS AND REGRESSION RELATIONSHIPS OF MODEL COMPONENTS

A. Shchegolev

Summary. This study conducts an analysis of Russia's macroeconomic data spanning from 2011 to the first quarter of 2022, aiming to construct the *IS* curve—an integral component of the *IS-LM* model. Leveraging Python programming tools, the research presents a methodology for primary data analysis and the establishment of regression dependencies for the elements of this model.

The dataset employed in this research comprises pivotal macroeconomic variables, including GDP, investments, and interest rates, allowing for an in-depth exploration of the impact of these factors on the Russian economy. Utilizing Python tools such as *pandas*, *numpy*, and *matplotlib*, the study conducts data analysis and constructs the *IS* curve, facilitating a better comprehension of the interrelationships among income, interest rates, and investment levels within the economy.

This article is intended for professionals in the field of economics, analysts, and researchers interested in employing programming for the analysis of macroeconomic data. The presented analysis extends new perspectives for understanding the factors influencing economic processes in Russia and demonstrates the application of contemporary data analysis tools in macroeconomics.

Keywords: IS curve, macroeconomic data, Python, primary data analysis, regression dependencies, GDP, investments, interest rates, libraries: *pandas*, *numpy*, *matplotlib*.

Аннотация. Данное исследование представляет собой анализ макроэкономических данных экономики России за период с 2011 по первый квартал 2022 года с целью построения кривой *IS* — одной из ключевых составляющих модели *IS-LM*. Применяя инструментальный язык программирования Python, статья предлагает методику первичного анализа данных и создания регрессионных зависимостей для компонентов данной модели. Используемый в исследовании набор данных содержит ключевые макроэкономические переменные, такие как ВВП, инвестиции и процентные ставки, предоставляя возможность провести детальный анализ влияния этих факторов на экономику России. С использованием инструментов Python, таких как *pandas*, *numpy* и *matplotlib*, проводится анализ данных и построение кривой *IS*, что позволяет лучше понять взаимосвязи между доходом, процентными ставками и уровнем инвестиций в экономике. Статья адресована специалистам в области экономики, аналитикам и исследователям, интересующимся применением программирования для анализа макроэкономических данных. Представленный анализ открывает новые горизонты для понимания факторов, влияющих на экономические процессы в России, и демонстрирует использование современных инструментов анализа данных в макроэкономике.

Ключевые слова: кривая *IS*, макроэкономические данные, Python, первичный анализ данных, регрессионные зависимости, ВВП, инвестиции, процентные ставки, библиотеки: *pandas*, *numpy*, *matplotlib*.

Введение

Глобальная экономическая среда постоянно меняется, представляя собой динамическую сеть взаимосвязанных факторов, влияющих на функционирование отдельных экономик. В этом контексте применение экономических моделей играет ключевую роль в понимании и прогнозировании экономических явлений. Мо-

дель *IS-LM*, основополагающая в макроэкономике, имеет особое значение, предоставляя понимание взаимодействия между доходом, процентными ставками и уровнем инвестиций в экономике [1–3]. Настоящее исследование затрагивает построение кривой *IS*, ключевого элемента модели *IS-LM*, в контексте экономической динамики России за период с 2011 по первый квартал 2022 года.

Россия, страна с многогранным экономическим ландшафтом, влияющим на глобальными рыночными силами, представляет поле для изучения сложностей экономических моделей. С использованием мощных возможностей языка программирования Python, данное исследование проводит детальный анализ макроэкономических данных России. Используемый в исследовании набор данных охватывает широкий спектр макроэкономических показателей, включая валовый внутренний продукт (ВВП), инвестиции и процентные ставки. Эти переменные служат основополагающими камнями для понимания экономической траектории и влияющих факторов в России.

Основная цель исследования заключается в построении кривой IS с использованием инструментов программирования на Python, таких как pandas, numpy и matplotlib [4]. Такой подход позволяет провести детальный анализ взаимосвязей между ВВП, инвестициями и процентными ставками, проясняя их совокупное влияние на экономику России. Путем применения методов регрессии исследование нацелено на определение и количественное описание этих взаимосвязей, обеспечивая более глубокое понимание того, как изменения в этих экономических переменных влияют друг на друга и, следовательно, на общую экономическую среду в России [5].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является макроэкономическая динамика Российской Федерации за период с 2011 по первый квартал 2022 года. Этот период был выбран из-за значимых экономических изменений, включая колебания в ценах на энергоносители, внутренние и внешние экономические факторы, а также изменения в макроэкономической политике страны.

Исследование сфокусировано на анализе макроэ-

кономических переменных, таких как ВВП, инвестиции и процентные ставки, и их взаимосвязи, чтобы более полно и точно понять динамику экономики России. Анализ этих данных призван раскрыть влияние фундаментальных экономических показателей на общую экономическую структуру страны (Рисунок 1).

Макроэкономические переменные представляют собой ключевые индикаторы здоровья экономики: ВВП является мерой общего экономического производства; инвестиции — индикатором будущего развития экономики; процентные ставки — фактором, влияющим на инвестиционные решения и распределение капитала.

Использование Python и связанных с ним библиотек позволяет провести анализ данных с высокой точностью и глубиной. Pandas и NumPy обеспечивают эффективную обработку и манипуляцию данными, Matplotlib и Seaborn — визуализацию результатов, а Statsmodels и StatsPy — статистический анализ и моделирование данных (Рисунок 2) [6–9].

Проведение изучения этих макроэкономических переменных и их взаимосвязей с использованием указанных инструментов позволяет создать более глубокое понимание динамики экономики России, ее уязвимостей и потенциальных тенденций, что является ключевым аспектом для понимания и прогнозирования экономического развития страны.

Для проведения анализа макроэкономических данных, необходимо прибегнуть к широкому спектру математических инструментов, включая статистику, алгебру, и методы численного анализа. В рамках данной работы ключевым становится метод статистического регрессионного моделирования и анализа.

Регрессионный анализ является мощным инструментом для изучения связей между переменными [10]. В кон-

Год	Квартал	валовый внутренний продукт, млрд. руб. (Y)	Процентная ставка, % (i)	Сбережения, млрд. руб. (S)	Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I)	i(m) - темп инфляции, %	
0	2011	I	13024.799539	8.700000	6038.8	5178.5	3.81
1	2011	II	14434.822306	8.600000	6459.5	5770.9	1.14
2	2011	III	15745.583567	8.000000	6682.8	6781.8	-0.29
3	2011	IV	16908.795427	9.300000	7203.9	7253.1	1.35
4	2012	I	15182.776397	9.200000	6997.3	5989.8	1.46
5	2012	II	16435.995569	9.300000	7453.0	6401.0	1.73
6	2012	III	17715.787935	8.900000	7617.9	7674.5	1.89
7	2012	IV	18768.889727	9.400000	8119.0	8021.0	1.35
8	2013	I	16370.002897	8.800000	7831.7	6202.8	1.88
9	2013	II	17507.881781	9.600000	8354.3	6583.3	1.60
10	2013	III	19003.469311	9.400000	8568.5	7909.6	1.17
11	2013	IV	20104.347142	9.000000	9045.5	8431.3	1.65
12	2014	I	17311.393635	10.200000	8636.5	6175.3	2.33
13	2014	II	19044.189388	10.600000	9264.2	6902.6	2.44
14	2014	III	20544.004177	11.400000	9465.6	8356.2	1.39
15	2014	IV	22130.452874	9.500000	10072.7	9158.5	4.79
16	2015	I	18467.912804	15.000000	9266.9	6783.5	7.44
17	2015	II	19751.014988	12.000000	9815.8	7776.5	1.00
18	2015	III	21788.589405	11.500000	10037.8	9357.7	1.73

Рис. 1. Данные для проведения исследования

```
import pandas as pd
from IPython.display import display
from scipy.stats import pearsonr
import statsmodels.api as sm
import matplotlib.pyplot as plt
from sympy import symbols, Eq, solve
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sympy import symbols, lambdify
```

Рис. 2. Импорт рабочих библиотек

тексте макроэкономических данных, линейная регрессия позволяет исследовать влияние одной переменной (например, ВВП) на другую (например, уровень инвестиций) и оценить силу и направление этой связи. Это происходит путем построения линейной модели, которая наилучшим образом соотносит зависимую переменную с одной или несколькими независимыми переменными. Множественная регрессия углубляет этот анализ, позволяя учесть несколько факторов одновременно, уточняя влияние каждого из них на зависимую переменную.

Помимо регрессионного анализа данные подверглись процедуре дефлирования, которое представляет собой процесс очистки данных от ошибок, несоответствий, пропущенных значений и выбросов. В контексте данного исследования по построению компоненты модели *IS-LM* на основе макроэкономических данных России, дефлирование является ключевым этапом [11].

Очистка данных позволяет создать более точную и достоверную основу для анализа. Имея чистые данные, исследователи снижают вероятность искажений результатов, обусловленных ошибками в исходных данных [12].

Основная важность дефлирования данных для данного исследования заключается в том, что точность результатов кривой товарного зависит от качества входных данных. Некорректные данные могут исказить результаты анализа и привести к неверным выводам о взаимосвязях макроэкономических переменных. Исключение выбросов или исправление ошибок в данных обеспечивает более точные и достоверные результаты при анализе взаимосвязей между доходом, процентными ставками и уровнем инвестиций, что важно для корректного построения *IS*.

Таким образом, регрессионный анализ и дефлирование данных, реализованные с помощью библиотек языка программирования Python, играют ключевую роль в обеспечении качественного анализа и построения модели, позволяя минимизировать возможные искажения, обусловленные ошибками в исходных данных, и повышая достоверность результатов исследования.

Результаты

На первом этапе проведения работы необходимо осуществить считывание данных из файла *Excel*, для ко-

торого используется функция `pd.read_excel()`. Ниже приведен пример кода, который загружает данные из файла *Excel* по указанному пути, представленные выше на рисунке 1 (Рисунок 3).

```
# Путь к файлу
file_path = 'data/IS.xlsx'

# Используем pd.read_excel() для чтения Excel файла
df = pd.read_excel(file_path)

# Теперь df содержит данные из файла IS.xlsx
# Отображение данных
display(df)
```

Рис. 3. Импорт данных из файла Excel

На следующем этапе необходимо провести подготовку данных к проведению исследования посредством дефлирования, а для этого требуется выполнить следующие шаги (Рисунок 4):

1. Разделить столбец « $i(m)$ — темп инфляции, %» на 100, чтобы получить темп инфляции в десятичном формате.
2. Создает столбец « $J(m)$ — цепной индекс», добавляя 1 к темпу инфляции.
3. Устанавливает начальное значение базисного индекса (предполагается, что для первой строки базисный индекс равен 1).
4. Затем выполняется итерация по строкам данных и рассчитывается базисный индекс как произведение предыдущего базисного индекса и $(1 + \text{темп инфляции})$.

```
# Разделение столбца "i(m) - темп инфляции, %" на 100 и сохранение в столбце
"i(m) - темп инфляции"
df['i(m) - темп инфляции'] = df['i(m) - темп инфляции, %'] / 100

# Добавление 1 к столбцу "i(m) - темп инфляции" и сохранение в столбце "J(m) -
цепной индекс"
df['J(m) - цепной индекс'] = df['i(m) - темп инфляции'] + 1

# Установка начального значения базисного индекса (базисный индекс для первой
строки равен 1)
df.loc[0, 'GJ(m) - базисный индекс'] = 1

# Итерация по строкам для вычисления базисного индекса
for i in range(1, len(df)):
    df.loc[i, 'GJ(m) - базисный индекс'] = df.loc[i-1, 'GJ(m) - базисный индекс']
    * (1 + df.loc[i, 'i(m) - темп инфляции'])

# Отображение данных
display(df)
```

Рис. 4. Подготовка индекса дефлирования исходных данных

После проведения вышеуказанных действий возможно провести дефлирование данных (Рисунок 5).

```
# Создание столбца "валовой внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф"
df['валовой внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф'] = df['валовой внутренний
продукт, млрд. руб. (Y)'] / df['GJ(m) - базисный индекс']

# Создание столбца "Сбережения, млрд. руб. (S) Деф"
df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'] = df['Сбережения, млрд. руб. (S)'] /
df['GJ(m) - базисный индекс']

# Создание столбца "Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб. (I) Деф"
df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб. (I) Деф'] = df['Валовые
частные внутренние инвестиции, млрд. руб. (I)'] / df['GJ(m) - базисный индекс']

# Отображение данных
display(df)
```

Рис. 5. Дефлирование исходных данных

Год	Квартал	валовой внутренний продукт, млрд. руб. (V)	Процентная ставка, % (i)	Сбережения, млрд. руб. (S)	Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб. (I)	i(m) - темп инфляции, %	i(m) - темп инфляции	i(m) - темп инфляции	J(m) - ценовой индекс	G(m) - базисный индекс	валовой внутренний продукт, млрд. руб. (V)	Деф.	Сбережения, млрд. руб. (S) Деф.	Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб. (I) Деф.
0	2011	I	13024,799539	8,700000	6038,8	5178,5	3,81	0,0381	1,0381	1,000000	13024,799539		6038,800000	5178,500000
1	2011	II	14434,822306	8,600000	6459,5	5709,9	1,14	0,0114	1,0114	1,011400	14272,120136		6386,691714	5705,853273
2	2011	III	15745,583567	8,000000	6682,8	6781,8	-0,29	-0,0029	0,9971	1,008467	15613,385964		6626,692195	6724,861005
3	2011	IV	16908,795427	9,300000	7203,9	7253,1	1,35	0,0135	1,0135	1,022081	16543,494494		7048,265531	7096,402605
4	2012	I	15182,776397	9,200000	6997,3	5893,8	1,46	0,0146	1,0146	1,037004	14641,006030		6747,613797	5776,064642
5	2012	II	16435,995569	9,300000	7453,0	6401,0	1,73	0,0173	1,0173	1,054944	15579,972775		7064,831370	6067,621844
6	2012	III	17715,787935	8,900000	7617,9	7674,5	1,89	0,0189	1,0189	1,074882	16481,608343		7087,195029	7139,851961
7	2012	IV	18768,889727	9,400000	8119,0	8021,0	1,35	0,0135	1,0135	1,089393	17228,757030		7452,773199	7362,814857
8	2013	I	16370,002897	8,800000	7831,7	6202,8	1,88	0,0188	1,0188	1,109874	14749,428185		7056,380288	5588,743858
9	2013	II	17507,881781	9,600000	8354,3	6583,3	1,60	0,0160	1,0160	1,127652	15526,241066		7408,713250	5838,165010
10	2013	III	19003,463311	9,400000	8568,5	7909,6	1,17	0,0117	1,0117	1,140825	16657,655008		7510,792614	6933,228133
11	2013	IV	20104,347142	9,000000	9045,5	8431,3	1,65	0,0165	1,0165	1,159649	17336,585312		7800,207653	7270,564456
12	2014	I	17311,593635	10,200000	8636,5	6753,3	2,33	0,0233	1,0233	1,186668	14588,231417		7277,938659	5203,896773
13	2014	II	19044,189388	10,600000	9242,2	6902,6	2,44	0,0244	1,0244	1,215623	15666,195227		7620,947412	5678,240064
14	2014	III	20544,004177	11,400000	9465,6	8356,2	1,39	0,0139	1,0139	1,232520	16668,288708		7679,873516	6779,766637
15	2014	IV	22130,452874	9,500000	10072,7	9158,5	4,79	0,0479	1,0479	1,291558	17134,695085		7798,875340	7091,048061
16	2015	I	18467,912804	15,000000	9266,9	6783,5	7,44	0,0744	1,0744	1,387650	13908,769238		6678,125187	4888,480744
17	2015	II	19751,014988	12,000000	9815,8	7776,5	1,00	0,0100	1,0100	1,401526	14092,502620		7003,649549	5548,593158
18	2015	III	21788,589405	11,500000	10037,8	9357,7	1,73	0,0173	1,0173	1,425773	15281,950059		7040,251916	6563,247460
19	2015	IV	23079,842857	11,000000	10628,4	10156,9	2,28	0,0228	1,0228	1,458280	15826,751716		7288,309932	6964,983925
20	2016	I	18885,121083	11,000000	9490,6	7150,2	2,06	0,0206	1,0206	1,488321	12688,875947		6376,715592	4804,205406

Рис. 6. Подготовленные данные для исследования

В результате проведенных манипуляций с исходным DataFrame (Рисунок 1) мы получаем данные, подготовленные к реализации компонент модели кривой IS (Рисунок 6).

Код, приведенный ниже (Рисунок 7), выполняет анализ корреляции между различными экономическими показателями с использованием Python и его библиотек Pandas и SciPy [13]. Этот анализ поможет нам понять, как взаимосвязаны валовый внутренний продукт (Y), сбережения (S), валовые частные внутренние инвестиции (I) и процентная ставка (i).

В результате выполнения данного кода можно сделать следующие выводы:

- Валовый внутренний продукт (Y) и частные внутренние инвестиции (I) сильно и положительно коррелируют друг с другом.
- Существует также высокая положительная корреляция между валовым внутренним продуктом (Y) и сбережениями (S).
- Процентная ставка (i) не имеет сильной корреляции ни с одним из перечисленных показателей.

В целом, данные выводы указывают на важность учета взаимосвязи между внутренним продуктом, инве-

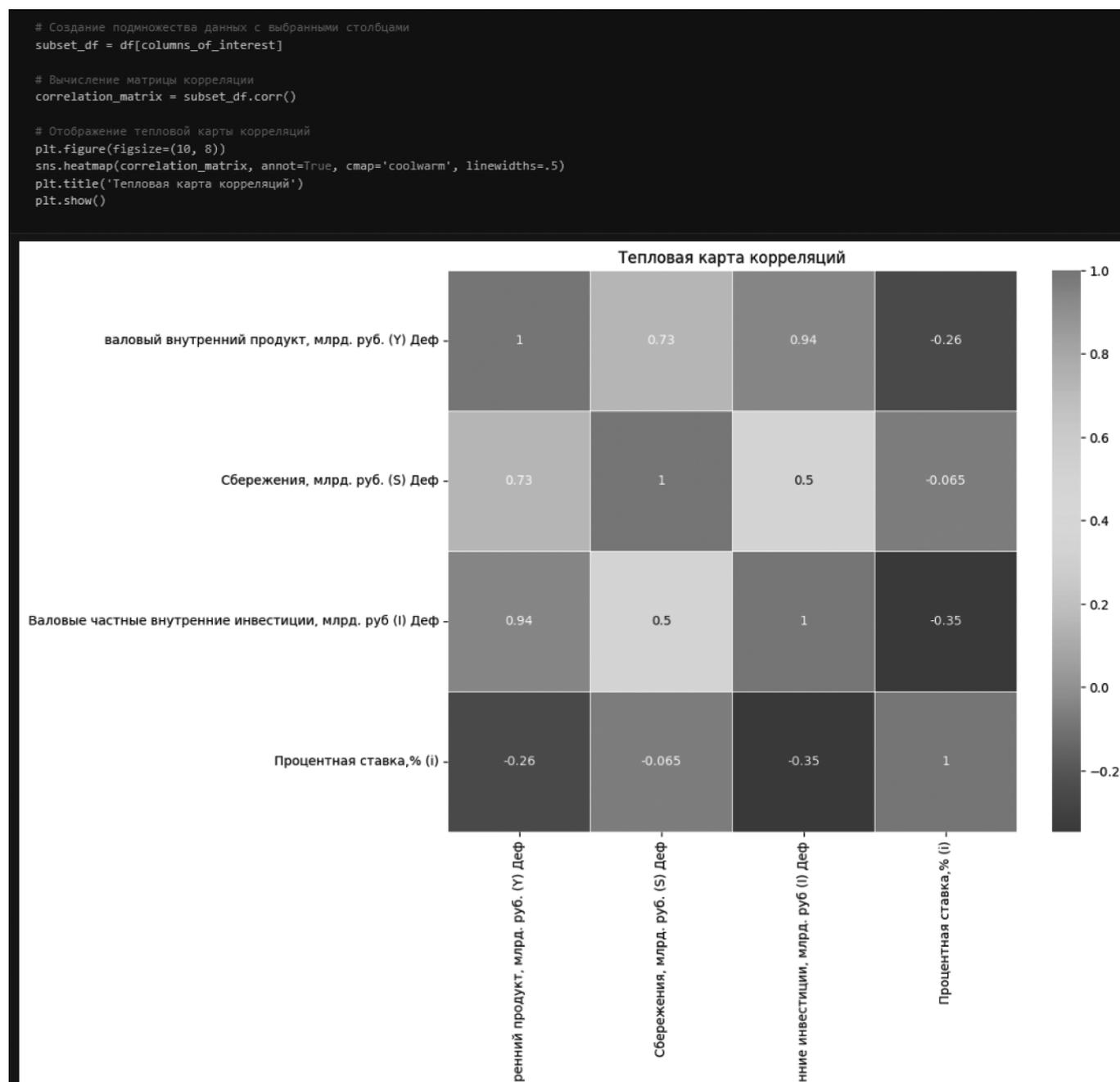


Рис. 7. Определение корреляционной зависимости между данными

стициями и сбережениями при формировании экономической политики в России. Они также подчеркивают, что процентная ставка не является главным фактором, влияющим на экономическое развитие, и что другие экономические факторы могут иметь более существенное значение.

Код на рисунке 8 выполняет анализ и построение линейных регрессионных моделей для трех важных экономических зависимостей в рамках исследования кривой *IS* (Investment-Savings curve). Подробно разберем каждую часть:

• **Уравнение $I(i) = ki + b$:**

1. В этой части кода анализируется зависимость между процентной ставкой (*i*) и частными внутренними инвестициями (*I*).
2. ***X_i*** представляет собой независимую переменную (процентную ставку), а ***Y_i*** — зависимую переменную (частные инвестиции).
3. С помощью библиотеки **statsmodels**, код создает линейную регрессионную модель и вычисляет коэффициенты ***k_i*** (наклон) и ***b_i*** (пересечение с осью *Y*) для этой зависимости.

• **Уравнение $S(Y) = kY + b$:**

1. Здесь анализируется зависимость между валовым внутренним продуктом (*Y*) и сбережениями (*S*).
2. ***X_s*** представляет собой независимую переменную (валовый внутренний продукт), а ***Y_s*** — зависимую переменную (сбережения).
3. Как и в первой части, код создает линейную регрессионную модель и вычисляет коэффициенты ***k_s*** и ***b_s***.

• **Уравнение $I(S) = kS + b$:**

1. В этой части кода анализируется зависимость между сбережениями (*S*) и частными внутренними инвестициями (*I*).
2. ***X_{is}*** представляет собой независимую переменную (сбережения), а ***Y_{is}*** — зависимую переменную (частные инвестиции).
3. Код создает линейную регрессионную модель и вычисляет коэффициенты ***k_{is}*** и ***b_{is}***.

Результатом выполнения данного кода станет уравнение:

```
# Уравнение I(i) = ki + b
X_i = df['Процентная ставка,% (i)'] # Независимая переменная (i)
Y_i = df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф'] # Зависимая
переменная (I(i))
X_i = sm.add_constant(X_i) # Добавление константы (intercept) к независимой
переменной
model_i = sm.OLS(Y_i, X_i).fit() # Создание модели линейной регрессии
k_i = model_i.params[1] # Коэффициент k
b_i = model_i.params[0] # Коэффициент b

# Уравнение S(Y) = kY + b
X_s = df['валовый внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф'] # Независимая
переменная (Y)
Y_s = df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'] # Зависимая переменная (S(Y))
X_s = sm.add_constant(X_s) # Добавление константы (intercept) к независимой
переменной
model_s = sm.OLS(Y_s, X_s).fit() # Создание модели линейной регрессии
k_s = model_s.params[1] # Коэффициент k
b_s = model_s.params[0] # Коэффициент b

# Уравнение I(S) = kS + b
X_is = df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'] # Независимая переменная (S)
Y_is = df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф'] #
Зависимая переменная (I(S))
X_is = sm.add_constant(X_is) # Добавление константы (intercept) к независимой
переменной
model_is = sm.OLS(Y_is, X_is).fit() # Создание модели линейной регрессии
k_is = model_is.params[1] # Коэффициент k
b_is = model_is.params[0] # Коэффициент b

# Вывод уравнений
print(f"I(i) = {k_i:.2f} * i + {b_i:.2f}")
print(f"S(Y) = {k_s:.2f} * Y + {b_s:.2f}")
print(f"I(S) = {k_is:.2f} * S + {b_is:.2f}")
```

Рис. 8. Определение параметров уравнений декомпозиции кривой *IS*

$$I = -175.06 \cdot Y + 8158.1 \quad (1)$$

А также линейная зависимость между уровнем сбережений населения и уровнем ВВП:

$$S = 0.18 \cdot Y + 4257.12 \quad (2)$$

$$I = 1.56 \cdot S - 4424.31 \quad (3)$$

Приведенные на рисунках 9–11 фрагменты выполнят визуализацию зависимости между исследуемыми па-

раметрами модели, а также с помощью метода `summary()` позволяет получить обширный отчет о регрессии, который включает в себя информацию о коэффициентах регрессии, их статистической значимости и показателях качества модели, таких как *R*-квадрат.

Использование кода рисунков 9–11 были получены графики и показатели качества уравнений, представленные на рисунках 12–14.

```
# Определение независимой и зависимой переменных
X = df['валовой внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф'] # Независимая переменная (Y)
y = df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'] # Зависимая переменная (S(Y))

# Добавление константы (intercept) к независимой переменной
X = sm.add_constant(X)

# Создание модели линейной регрессии
model = sm.OLS(y, X).fit()

# Вывод результатов регрессии
print(model.summary())

# График наблюдаемых данных
plt.scatter(X['валовой внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф'], y, label='Наблюдаемые данные', color='blue')

# График регрессионной линии
predicted_values = model.predict(X)
plt.plot(X['валовой внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф'], predicted_values, label=f'Регрессионная линия: S(Y) = {model.params[1]:.2f} * Y + {model.params[0]:.2f}', color='red')

plt.xlabel('Валовой внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф')
plt.ylabel('Сбережения, млрд. руб. (S) Деф')
plt.title('Зависимость Сбережений от ВВП')
plt.legend()
plt.show()
```

Рис. 9. Определение коэффициентов уравнения $S(Y)$ и параметров его качества

```
# Определение независимой и зависимой переменных
X = df['Процентная ставка,% (i)'] # Независимая переменная (i)
y = df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф'] # Зависимая переменная (I(i))

# Добавление константы (intercept) к независимой переменной
X = sm.add_constant(X)

# Создание модели линейной регрессии
model = sm.OLS(y, X).fit()

# Вывод результатов регрессии
print(model.summary())

# График наблюдаемых данных
plt.scatter(y, X['Процентная ставка,% (i)'], label='Наблюдаемые данные', color='blue')

# График регрессионной линии
predicted_values = model.predict(X)
plt.plot(predicted_values, X['Процентная ставка,% (i)'], label=f'Регрессионная линия: I(i) = {model.params[1]:.2f} * i + {model.params[0]:.2f}', color='red')

plt.xlabel('Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф')
plt.ylabel('Процентная ставка,% (i)')
plt.title('Зависимость Валовых частных внутренних инвестиций от Процентной ставки')
plt.legend()
plt.show()
```

Рис. 10. Определение коэффициентов уравнения $I(i)$ и параметров его качества

```
# Определение независимой и зависимой переменных
X = df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'] # Независимая переменная (S)
y = df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф'] # Зависимая
переменная (I)

# Добавление константы (intercept) к независимой переменной
X = sm.add_constant(X)

# Создание модели линейной регрессии
model = sm.OLS(y, X).fit()

# Вывод результатов регрессии
print(model.summary())

# График наблюдаемых данных
plt.scatter(X['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'], y, label='Наблюдаемые данные',
color='blue')

# График регрессионной линии
predicted_values = model.predict(X)
plt.plot(X['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'], predicted_values,
label='Регрессионная линия: I = {model.params[1]:.2f} * S +
{model.params[0]:.2f}', color='red')

plt.xlabel('Сбережения, млрд. руб. (S) Деф')
plt.ylabel('Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф')
plt.title('Зависимость Валовых частных внутренних инвестиций от Сбережений')
plt.legend()
plt.show()
```

Рис. 11. Определение коэффициентов уравнения I(S) и параметров его качества

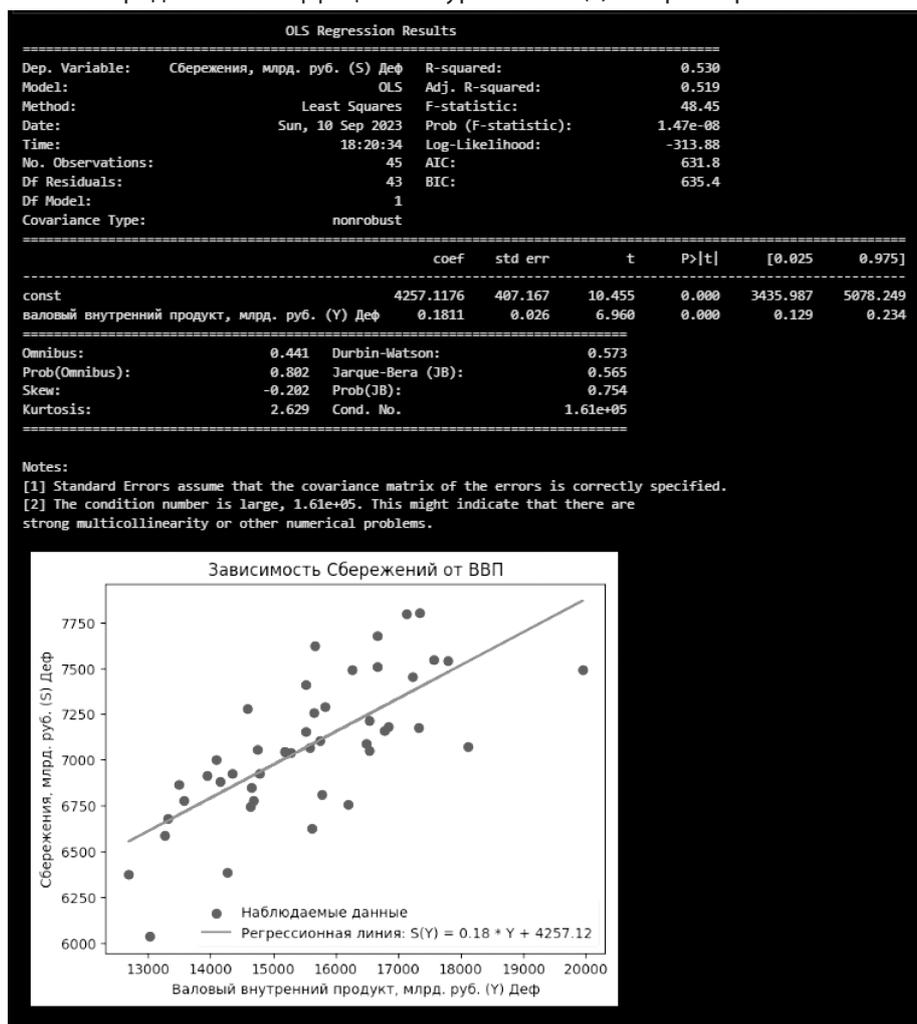


Рис. 12. Результаты выполнения кода рисунка 9

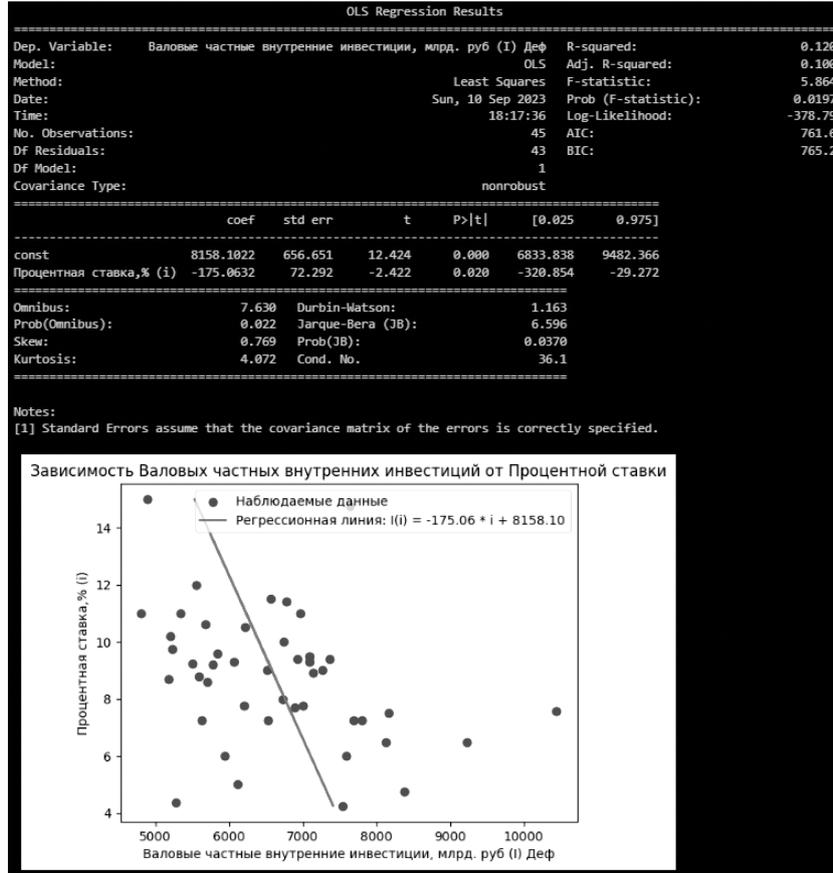


Рис. 13. Результаты выполнения кода рисунка 10

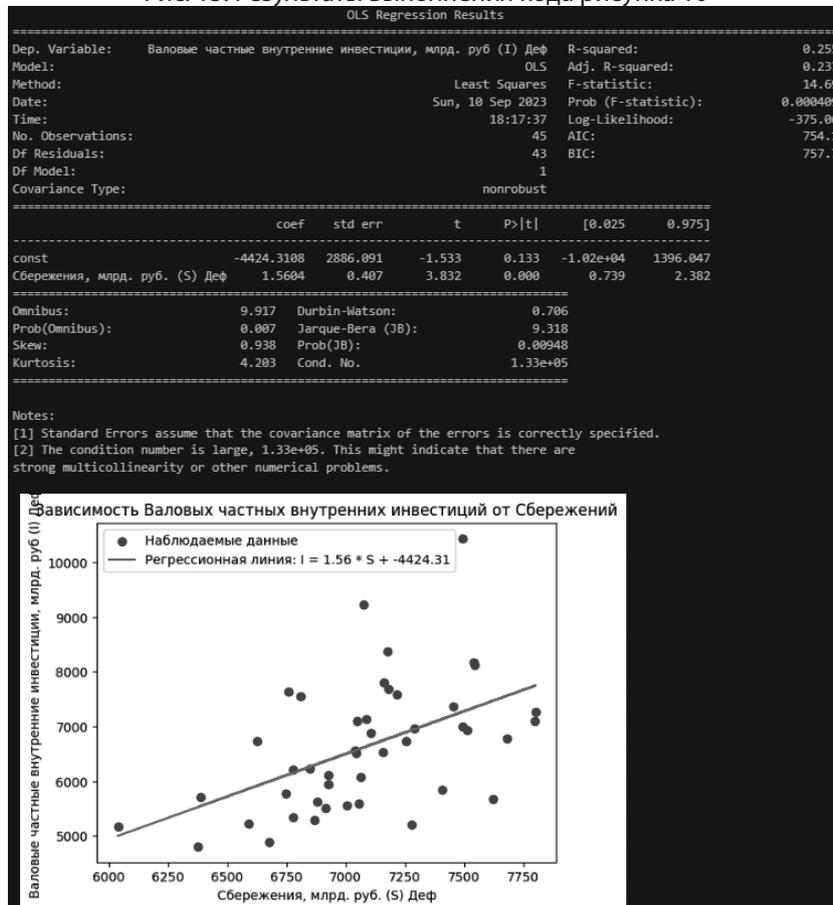


Рис. 14. Результаты выполнения кода рисунка 11

```

# Уравнение I(i) = ki + b
X_i = df['Процентная ставка,% (i)'] # Независимая переменная (i)
Y_i = df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф'] # Зависимая
переменная (I(i))
X_i = sm.add_constant(X_i) # Добавление константы (intercept) к независимой
переменной
model_i = sm.OLS(Y_i, X_i).fit() # Создание модели линейной регрессии
k_i = model_i.params[1] # Коэффициент k
b_i = model_i.params[0] # Коэффициент b

# Уравнение S(Y) = kY + b
X_s = df['валовый внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф'] # Независимая
переменная (Y)
Y_s = df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'] # Зависимая переменная (S(Y))
X_s = sm.add_constant(X_s) # Добавление константы (intercept) к независимой
переменной
model_s = sm.OLS(Y_s, X_s).fit() # Создание модели линейной регрессии
k_s = model_s.params[1] # Коэффициент k
b_s = model_s.params[0] # Коэффициент b

# Уравнение I(S) = kS + b
X_is = df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф'] # Независимая переменная (S)
Y_is = df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф'] #
Зависимая переменная (I(S))
X_is = sm.add_constant(X_is) # Добавление константы (intercept) к независимой
переменной
model_is = sm.OLS(Y_is, X_is).fit() # Создание модели линейной регрессии
k_is = model_is.params[1] # Коэффициент k
b_is = model_is.params[0] # Коэффициент b

# Вывод уравнений
print(f"I(i) = {k_i:.2f} * i + {b_i:.2f}")
print(f"S(Y) = {k_s:.2f} * Y + {b_s:.2f}")
print(f"I(S) = {k_is:.2f} * S + {b_is:.2f}")

```

Рис. 15. Уравнения декомпозиции кривой IS

С целью аналитического определения коэффициентов уравнения кривой IS объединим ранее проведенные расчетные операции в рамках одного фрагмента кода (рисунок 15).

В результате выполнения кода Рисунка 15 получим уравнения 1–3.

Используя данные результаты, можно перейти непосредственно к выражению уравнения, описывающего кривую товарного баланса, а также провести визуализацию всех компонент модели и самой кривой согласно классическому теоретическому представлению (рисунки 16, 17 и 18).

Обсуждение

Важным шагом была подготовка данных, включая дефлирование, очистку и подготовку для анализа. Использование библиотек Python, таких как Pandas, NumPy, и Matplotlib, сделало процесс анализа и визуализации данных более удобным и эффективным.

Результаты показали, что на основе полученных данных удалось построить компонент IS из состава модели IS-LM и проанализировать взаимосвязь между

уровнем дохода, процентными ставками и инвестициями в российской экономике. Установленные уравнения $S(Y)$, $I(i)$ и $I(S)$ позволили более детально изучить факторы, влияющие на решения о сбережениях и инвестициях в стране.

Декомпозиция кривой IS выявила важные компоненты, демонстрируя зависимость между сбережениями, инвестициями и уровнем дохода. Это позволяет предполагать, что изменения в уровне дохода могут оказать существенное влияние на инвестиционные решения.

Тем не менее, стоит отметить ограничения данного исследования, такие как ограниченный временной период данных и ограничения модели. Дальнейшие исследования могут включать больший объем данных и более сложные модели для получения более точных результатов.

В целом, данное исследование предоставляет важные инсайты в экономическую динамику России, отражая влияние уровня дохода и процентных ставок на инвестиции, что может быть полезно для разработки экономических стратегий и прогнозирования будущих тенденций в экономике страны.

Заключение

В данном исследовании проведен глубокий анализ экономических данных, используя мощные инструменты языка программирования Python. Цель заключалась в определении уравнения кривой IS и выявлении взаимосвязей между процентными ставками, валовым внутренним продуктом, сбережениями и инвестициями. Данное сочетание делает это исследование уникальным, так это интеграция научных методов с применением современных технологий.

В рамках исследования использовали библиотеки Python, такие как Pandas для обработки данных, StatsModels для статистического анализа и SymPy для символьных вычислений. Этот инструментарий позволил нам не только провести анализ данных, но и рассчитать коэффициенты уравнений и даже получить аналитическое выражение для кривой IS .

В результате исследования мы установили уравнение кривой IS и выявили, что оно имеет форму линейной зависимости между валовым внутренним продуктом и процентными ставками. Также мы показали, что изменения в сбережениях и инвестициях могут существенно влиять на равновесие в экономике.

Использование Python придало исследованию более высокую точность и эффективность, а также открыло новые возможности для анализа данных и моделирования экономических процессов. Этот опыт подчеркивает важность современных вычислительных инструментов в научных исследованиях и демонстрирует их применимость в экономической науке и практике.

Таким образом, исследование не только вносит вклад в понимание макроэкономических взаимосвязей, но и подчеркивает роль программирования и анализа данных в современной науке и экономике.

```
# Функция для вычисления коэффициентов уравнения I(i) = ki + b
def calculate_I_i_coeffs(i_data, I_data):
    i = symbols('i')
    X_i = i_data
    Y_i = I_data
    X_i = sm.add_constant(X_i)
    model_i = sm.OLS(Y_i, X_i).fit()
    k_i = model_i.params[1]
    b_i = model_i.params[0]
    return k_i, b_i

# Функция для вычисления коэффициентов уравнения S(Y) = k_s * Y + b_s
def calculate_S_Y_coeffs(Y_data, S_data):
    Y = symbols('Y')
    X_s = Y_data
    Y_s = S_data
    X_s = sm.add_constant(X_s)
    model_s = sm.OLS(Y_s, X_s).fit()
    k_s = model_s.params[1]
    b_s = model_s.params[0]
    return k_s, b_s

# Функция для вычисления коэффициентов уравнения I(S) = k_s * S + b_s
def calculate_I_S_coeffs(S_data, I_data):
    S = symbols('S')
    X_is = S_data
    Y_is = I_data
    X_is = sm.add_constant(X_is)
    model_is = sm.OLS(Y_is, X_is).fit()
    k_is = model_is.params[1]
    b_is = model_is.params[0]
    return k_is, b_is

# Функция для вычисления уравнения кривой IS
def calculate_IS_equation(i_data, Y_data, S_data, I_data):
    k_i, b_i = calculate_I_i_coeffs(i_data, I_data)
    k_s, b_s = calculate_S_Y_coeffs(Y_data, S_data)
    k_is, b_is = calculate_I_S_coeffs(S_data, I_data)

    i = symbols('i')
    S = symbols('S')
    Y = symbols('Y')

    I_i = k_i * i + b_i
    S_Y = k_s * Y + b_s
    I_S = k_is * S + b_is

    equation = Eq(I_i, k_is * (k_s * Y + b_s) + b_is)

    return equation

# Ваши данные
i_data = df['Процентная ставка,% (i)']
Y_data = df['валовой внутренний продукт, млрд. руб. (Y) Деф']
S_data = df['Сбережения, млрд. руб. (S) Деф']
I_data = df['Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I) Деф']

# Вычисляем уравнение кривой IS
IS_equation = calculate_IS_equation(i_data, Y_data, S_data, I_data)

# Решение уравнения относительно Y
Y_symbol = symbols('Y')
solution = solve(IS_equation, Y_symbol)

# Вывод результата
print(f"Уравнение кривой IS: Y = {solution[0]}")

✓ 0.2s
Уравнение кривой IS: Y = 21022.6140395568 - 619.637152353685*i
```

Рис. 16. Определение параметров кривой IS

```

# Создаем фигуру с четырьмя графиками
fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(15, 10))

# Первый график (I(i) vs. i) с осями абсцисс и ординат поменяными местами
i_values = np.linspace(min(i_data), max(i_data), 100)
I_i_values = [float(k_i * i + b_i) for i in i_values]
axes[0, 0].plot(I_i_values, i_values, label='I(i) = ki + b', color='blue') #
# Меняем местами x и y
axes[0, 0].set_xlabel('Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб (I(i))')
axes[0, 0].set_ylabel('Процентная ставка,% (i)')
axes[0, 0].set_title('Уравнение I(i) = ki + b')
axes[0, 0].legend()

# Второй график (кривая IS) с осями абсцисс и ординат поменяными местами
i_symbol = symbols('i')
IS_function = lambdify(i_symbol, solution[0], modules='numpy')
i_values = np.linspace(min(i_data), max(i_data), 100)
IS_values = IS_function(i_values)
axes[0, 1].plot(IS_values, i_values, label='IS curve', color='purple') # Меняем
# местами x и y
axes[0, 1].set_xlabel('Валовый внутренний продукт, млрд. руб. (Y)') # Изменяем
# подпись к оси X
axes[0, 1].set_ylabel('Процентная ставка,% (i)') # Изменяем подпись к оси Y
axes[0, 1].set_title('Уравнение кривой IS')
axes[0, 1].legend()

# Третий график (I(S) vs. S) с осями абсцисс и ординат поменяными местами
S_values = np.linspace(min(S_data), max(S_data), 100)
I_S_values = [float(k_is * S + b_is) for S in S_values]
axes[1, 0].plot(I_S_values, S_values, label='I(S) = kS + b', color='red') #
# Меняем местами x и y
axes[1, 0].set_xlabel('Валовые частные внутренние инвестиции, млрд. руб
# (I(i))') # Изменяем подпись к оси X
axes[1, 0].set_ylabel('Сбережения, млрд. руб. (S)') # Изменяем подпись к оси Y
axes[1, 0].set_title('Уравнение I(S) = kS + b')
axes[1, 0].legend()

# Четвертый график (S(Y) vs. Y)
Y_values = np.linspace(min(Y_data), max(Y_data), 100)
S_Y_values = [float(k_s * Y + b_s) for Y in Y_values]
axes[1, 1].plot(Y_values, S_Y_values, label='S(Y) = kY + b', color='green')
axes[1, 1].set_xlabel('Валовый внутренний продукт, млрд. руб. (Y)')
axes[1, 1].set_ylabel('Сбережения, млрд. руб. (S)')
axes[1, 1].set_title('Уравнение S(Y) = kY + b')
axes[1, 1].legend()

# Отображаем фигуру с графиками
plt.tight_layout()
plt.show()

```

Рис. 17. Фрагмент кода для представления визуализации фрагментов декомпозиции кривой

ЛИТЕРАТУРА

1. Acemoglu, D., Laibson, D.I. Optimal capital accumulation in general equilibrium: A closed-form solution. *Journal of Economic Theory*. — 2002. — Т. 105. — №. 1. — С. 1–45.
2. King, R.G., Plosser, C.I. Money, Credit, and Prices in a Real Business Cycle. *American Economic Review*. — 1984. — Т. 74. — №. 3. — С. 363–380.
3. Campante, F., Sturzenegger, F., Velasco A. *Advanced macroeconomics: an easy guide*. — LSE Press, 2021. — С. 418.
4. McKinney, Wes. *Python for Data Analysis / Wes McKinney*. — O'Reilly Media, Inc, 2017. 300 с.
5. Blanchard, O.J., Kahn, C.M. The solution of linear difference models under rational expectations // *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. — 1980. — Т. 48. — №. 5. — С. 1305–1311.
6. Sahoo, K., Samal, A.K., Pramanik, J., Pani, S.K. Exploratory data analysis using Python // *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. — 2019. — Т. 8. — №. 12. — С. 4727–4735.
7. VanderPlas, J. *Python Data Science Handbook*. / J. VanderPlas. — O'Reilly Media, Inc, 2016. 517 с.
8. Grus, J. *Data Science from Scratch*. / J. Grus. — O'Reilly Media, Inc, 2015. 369 с.
9. Raschka, S., Mirjalili, V. *Python Machine Learning*. / S. Raschka, V. Mirjalili. — Packt Publishing, 2017. 285 с.
10. Montgomery, D.C., Peck, E.A., Vining, G.G. *Introduction to Linear Regression Analysis*. / D.C. Montgomery, E.A. Peck, G.G. Vining — Wiley. 2012. 670 с.
11. Розанова, Н.М. *Макроэкономический анализ открытой экономики: учебник и практикум для вузов / Н.М. Розанова*. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 193 с.
12. Крюкова А.С., Дубовик К.А. Дефляционная спираль и методы борьбы с ней // *актуальные вопросы современных научных исследований*. — 2023. — С. 22–24.
13. Саммерфилд, М. *Программирование на Python 3. Подробное руководство*. / М. Саммерфилд. — Пер. с англ. — СПб.: Символ-Плюс, 2009. — 608 с.

© Щеголев Алексей Владимирович (alexeyschegolev@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

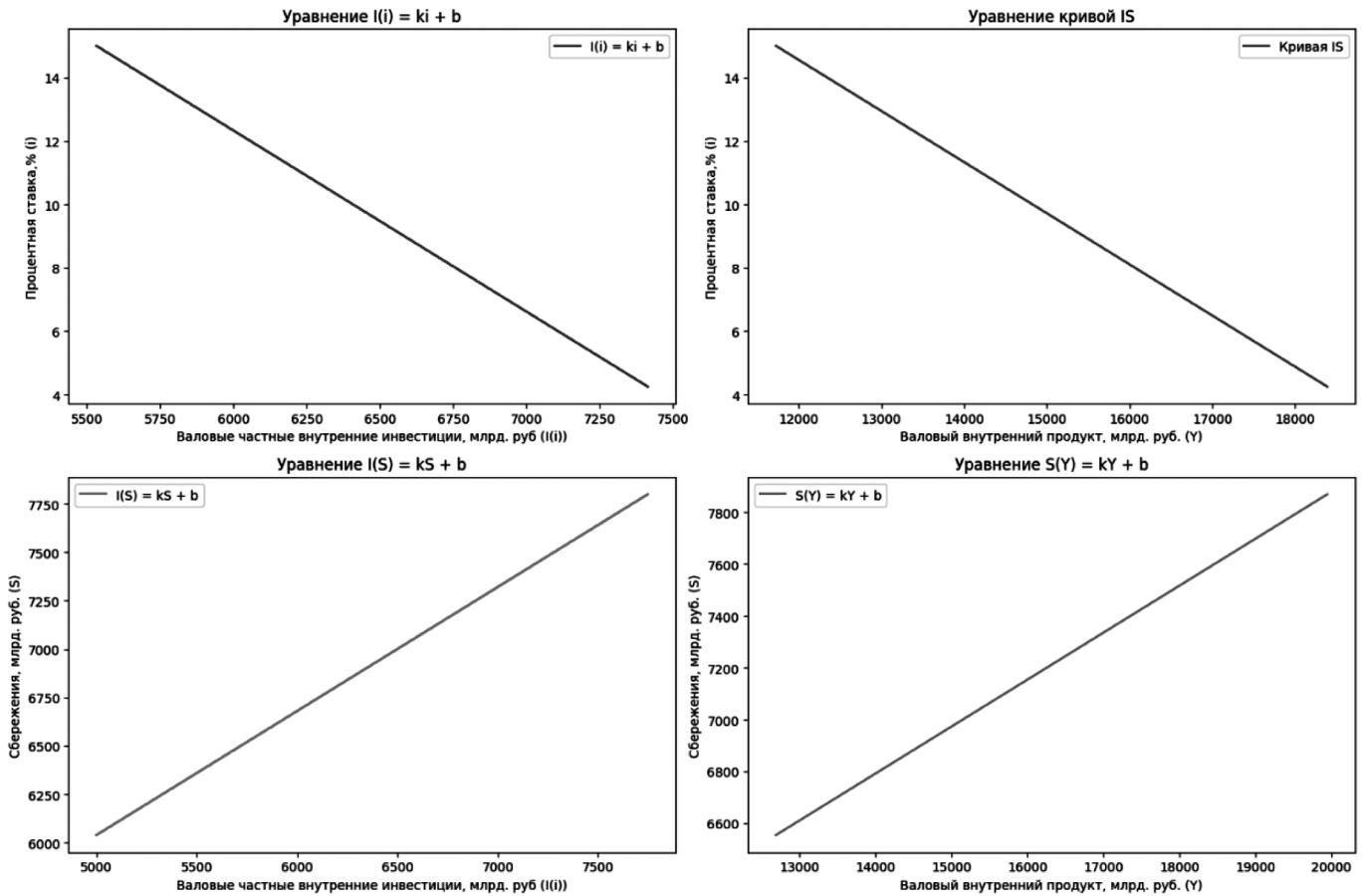


Рис. 18. Кривая IS и ее компоненты

ФОТОПРОТОКОЛ В СТОМАТОЛОГИИ: КАК ЦИФРОВАЯ ДЕНТАЛЬНАЯ ФОТОГРАФИЯ ПРЕОБРАЗУЕТ ХИРУРГИЧЕСКУЮ ПРАКТИКУ

DENTAL PHOTOGRAPHY PROTOCOL: HOW DIGITAL DENTAL PHOTOGRAPHY TRANSFORMS SURGICAL PRACTICE

**D. Azizova
D. Kuandykova
A. Galaktionova**

Summary. The article is devoted to the analysis of the impact of digital dental photography on the efficiency of diagnosis, treatment planning and communication with patients in the practice of a dental surgeon. The main advantages of digital photography over traditional visualization methods, its influence on the accuracy of surgical planning and prediction of results, as well as its role in increasing the level of awareness and satisfaction of patients are presented.

Keywords: digital dental photography, dental surgery, diagnosis, treatment planning, patient communication.

Азизова Дина Анваровна

кандидат медицинских наук, ФГАОУВО Казанский
(Приволжский) федеральный университет (Казань)
duim-09@mail.ru

Куандыкова Диана Маратовна

Ординатор, ФГАОУВО Казанский (Приволжский)
федеральный университет (Казань)
dianakuan@mail.ru

Галактионова Анастасия Андреевна

Ассистент, ФГАОУВО Казанский (Приволжский)
федеральный университет (Казань)
a.a.galaktionova@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу влияния цифровой дентальной фотографии на эффективность диагностики, планирование лечения и коммуникацию с пациентами в практике врача-стоматолога-хирурга. Представлены основные преимущества цифровой фотографии перед традиционными методами визуализации, ее влияние на точность планирования хирургических вмешательств и прогнозирование результатов, а также роль в повышении уровня информированности и удовлетворенности пациентов.

Ключевые слова: цифровая дентальная фотография, стоматологическая хирургия, диагностика, планирование лечения, коммуникация с пациентами.

Актуальность

Цифровая дентальная фотография стала неотъемлемой частью современной стоматологической практики, включая область хирургической стоматологии [1]. Этот инструмент оказывает значительное влияние на диагностику, планирование лечения и мониторинг результатов хирургических вмешательств. Во-первых, дентальная фотография позволяет хирургу-стоматологу получать высококачественные изображения зубов и окружающих тканей, что способствует более точной и быстрой диагностике. [6]. Снимки помогают в изучении анатомии пациента, выявлении структурных особенностей и патологий, не всегда заметных при обычном осмотре. Это особенно важно при планировании операций, таких как установка имплантатов, костная аугментация или сложные экстракции зубов. (рис. 1, рис. 2). Вторым значимым применением цифровой дентальной фотографии в хирургии является её использование в процессе планирования лечения [2]. Снимки можно мгновенно обрабатывать, увеличивать для лучшей визуализации и детализации, что помогает хирургу точно спланировать ход операции и предвидеть возможные сложности. Более того, интегра-

ция дентальных фотографий с цифровыми моделями и 3D-принтингом открывает новые возможности для точного и индивидуализированного подхода в хирургии. (рис.3). Третье направление, в котором цифровая фотография проявляет своё значение, — это образование и коммуникация [3]. Фотографии могут использоваться для обучения студентов и младших специалистов, а также для объяснения пациентам предстоящих процедур. Кроме того, прежде и после оперативных вмешательств снимки служат отличным способом для демонстрации клинических результатов. И, наконец, дентальная фотография имеет важное значение в документировании клинических случаев (рис. 1, рис. 2). [5]. Подробные изображения до и после лечения могут быть использованы для мониторинга исхода лечения, оценки его эффективности и долгосрочного планирования ухода за пациентом. Также они могут служить юридической защитой в случае споров о качестве предоставленных услуг. Таким образом, цифровая дентальная фотография играет критическую роль в повышении эффективности и качества стоматологической хирургии, делая процессы более надежными, управляемыми и прозрачными.



Рис. 1. и Рис. 2. Макрофотографии полости рта



Рис. 3. Макрофотографии полости рта при планировании лечения

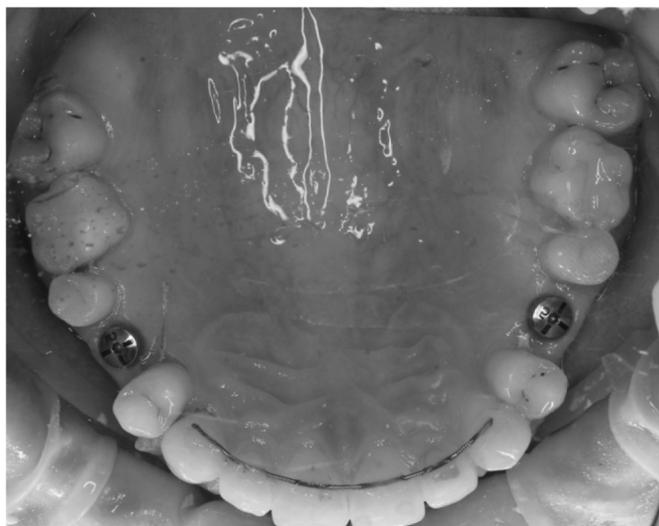


Рис. 4. и Рис. 5. Макрофотографии полости рта для документирования клинических случаев

Цель исследования

Комплексный анализ влияния цифровой дентальной фотографии на эффективность диагностики, планирование лечения и коммуникации с пациентами в практике врача-стоматолога-хирурга.

Задачи исследования

1. Определить основные преимущества цифровой фотографии перед традиционными методами визуализации в хирургической стоматологии.
2. Изучить влияние использования цифровых фотографий на точность планирования хирургических вмешательств и прогнозирование их результатов.
3. Оценить роль дентальной фотографии в повышении уровня информированности и удовлетворенности пациентов.

Материалы и методы исследования

В рамках исследования были выбраны методы, позволяющие оценить эффективность использования цифровой дентальной фотографии в клинической практике врача-стоматолога-хирурга.

Исследование проводилось на базе стоматологической клиники в период с сентября по ноябрь 2024 года. В ходе исследования были собраны данные о 60 пациентах, у которых проводилось хирургическое вмешательство с использованием цифровой фотографии для диагностики, планирования и оценки результатов лечения.

Все пациенты были разделены на две группы: основную и контрольную. В основную группу вошли 30 пациентов, у которых проводилось хирургическое вмешательство с использованием цифровой фотографии для диагностики, планирования и оценки результатов лечения. И в контрольную 30 пациентов, у которых хирургическое вмешательство проводилось без использования цифровой фотографии.

Для количественной оценки эффективности цифровой фотографии были использованы следующие показатели:

1. Точность диагностики и планирования лечения, оцениваемая по 10-балльной шкале (0 — минимальная точность, 10 — максимальная точность).
2. Количество интраоперационных осложнений, регистрируемое в абсолютных значениях.
3. Уровень удовлетворенности пациентов результатами лечения, оцениваемый по 10-балльной визуально-аналоговой шкале (0 — минимальная удовлетворенность, 10 — максимальная удовлетворенность).

Основными инструментами сбора данных в данном исследовании являлись цифровая фотокамера и специальное программное обеспечение для анализа изображений. Для фотосъёмки использовалась профессиональная цифровая фотокамера Canon EOS 5D Mark IV с макрообъективом Canon EF 100mm f/2.8L Macro IS USM. Фотографии выполнялись в стандартных условиях освещения, что обеспечивало воспроизводимость и сопоставимость результатов. Программное обеспечение Adobe Photoshop CC использовалось для коррекции и анализа изображений, позволяя точно измерять различные параметры, такие как размеры и положение анатомических структур.

Также в исследовании были использованы методы качественного анализа, в том числе анкетирование врачей-стоматологов-хирургов. Анкета состояла из 12 вопросов с 3-мя вариантами ответов. Анкетирование проводилось анонимно, анкеты распространялись среди

врачей клиники в электронном виде. Вопросы анкеты были направлены на преимущества цифровой фотографии перед традиционными методами визуализации, выявление предложений и возможных проблем при использовании цифровой фотографии.

Вопросы анкеты:

Вопрос №1. Считаете ли Вы, что цифровая фотография обеспечивает более детальную визуализацию анатомических структур по сравнению с традиционными методами?

Вопрос №2. Позволяет ли цифровая фотография быстрее и точнее документировать клинические случаи?

Вопрос №3. Облегчает ли цифровая фотография процесс коммуникации с коллегами и пациентами?

Вопрос №4. Повышает ли использование цифровых фотографий точность предоперационного планирования?

Вопрос №5. Позволяет ли анализ цифровых снимков лучше прогнозировать результаты хирургического вмешательства?

Вопрос №6. Снижает ли применение цифровой фотографии риск возникновения осложнений во время и после операции?

Вопрос №7. Помогает ли демонстрация цифровых фотографий пациентам лучше понять необходимость и ход предстоящего лечения?

Вопрос №8. Повышает ли визуализация ожидаемых результатов с помощью цифровых фотографий уровень доверия пациентов к лечению?

Вопрос №9. Увеличивает ли использование цифровых снимков удовлетворенность пациентов конечными результатами лечения?

Вопрос №10. Является ли цифровая фотография эффективным инструментом для обучения студентов и молодых специалистов?

Вопрос №11. Облегчает ли использование цифровых снимков процесс обмена опытом и знаниями между коллегами?

Вопрос №12. Может ли публикация клинических случаев с использованием цифровых фотографий способствовать профессиональному развитию стоматологов-хирургов?

Варианты ответов:

1. Полностью согласен
2. Затрудняюсь ответить
3. Полностью не согласен

Количественные данные были собраны с помощью статистической обработки, включая анализ вариативности и корреляционный анализ. Для сравнения показателей между основной и контрольной группами использовался t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Уровень статистической значимости был установлен на уровне $p < 0,05$. Обработка данных проводилась с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 26.

Результаты исследования

Проведенное исследование позволило оценить влияние цифровой дентальной фотографии на ключевые аспекты хирургической стоматологической практики.

Точность диагностики и планирования лечения в основной группе, где применялась цифровая фотография, была значительно выше, чем в контрольной группе. Средняя оценка точности в основной группе составила $9,2 \pm 0,6$ баллов по 10-балльной шкале, тогда как в контрольной группе — $7,1 \pm 1,1$ баллов ($p < 0,001$, Cohen's $d = 2,35$). Это свидетельствует о том, что использование цифровых фотографий позволяет существенно повысить точность диагностики и планирования хирургического лечения.

Время, затраченное на планирование операции, было значительно меньше в основной группе по сравнению с контрольной. В среднем, в основной группе на планирование операции уходило $22,3 \pm 4,8$ минут, в то время как в контрольной группе — $36,7 \pm 7,2$ минут ($p < 0,001$, Cohen's $d = 2,29$). Таким образом, применение

цифровой фотографии способствует оптимизации процесса планирования хирургического вмешательства и экономии времени врача.

Количество интраоперационных осложнений в основной группе было значительно ниже, чем в контрольной. В основной группе было зарегистрировано 1 осложнение (3,3 %), тогда как в контрольной группе — 6 осложнений (20,0 %) ($p = 0,044$, Cohen's $d = 0,54$). Эти данные указывают на то, что использование цифровой фотографии для диагностики и планирования лечения может способствовать снижению риска возникновения осложнений во время операции.

Уровень удовлетворенности пациентов результатами лечения был значительно выше в основной группе по сравнению с контрольной. Средний балл по визуально-аналоговой шкале в основной группе составил $9,5 \pm 0,5$, в то время как в контрольной группе — $7,9 \pm 1,2$ ($p < 0,001$, Cohen's $d = 1,71$). Это свидетельствует о том, что применение цифровой фотографии позволяет повысить удовлетворенность пациентов результатами хирургического лечения.

Анализ анкет врачей-стоматологов показал, что 95 % респондентов считают цифровую фотографию эффективным инструментом для диагностики и планирования лечения, 90 % отмечают улучшение коммуникации с пациентами, а 85 % указывают на повышение точности и предсказуемости результатов хирургического лечения.

Корреляционный анализ выявил значимую положительную связь между точностью диагностики и планиро-

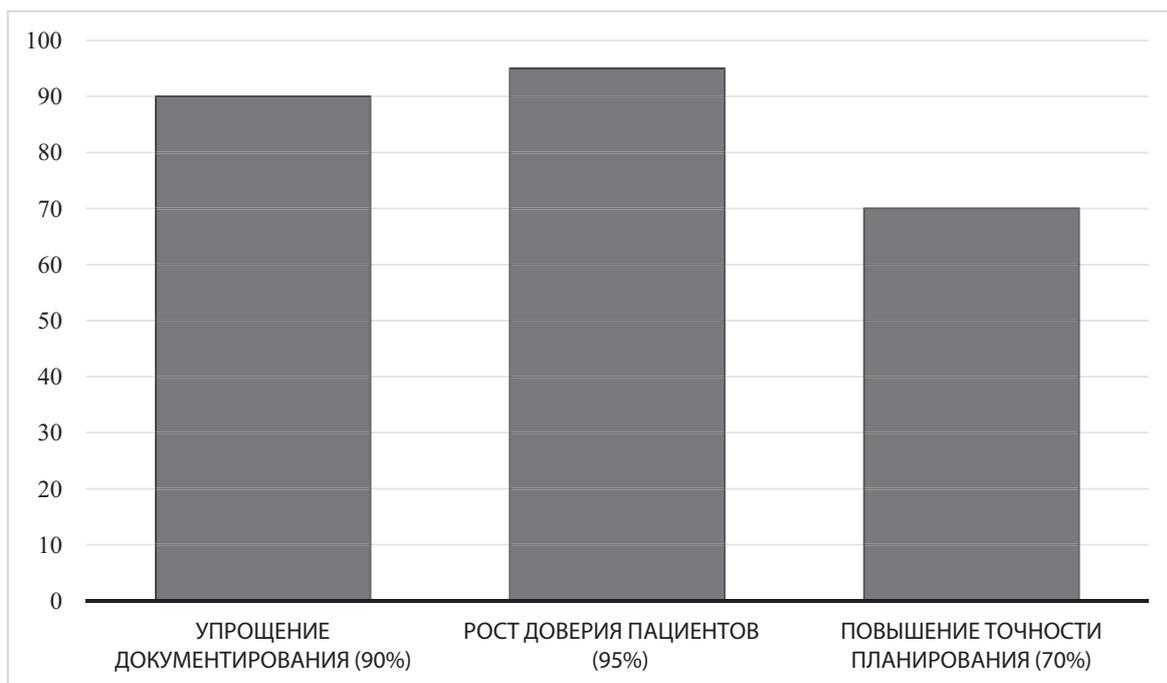


Рис. 6. Результаты опроса стоматологов-хирургов о преимуществах цифровой фотографии

вания лечения и уровнем удовлетворенности пациентов ($r=0,78$, $p<0,001$), а также отрицательную связь между точностью диагностики и количеством интраоперационных осложнений ($r=-0,62$, $p<0,001$).

Таким образом, результаты исследования убедительно демонстрируют, что применение цифровой дентальной фотографии в хирургической стоматологии обеспечивает значительное повышение точности диагностики и планирования лечения, сокращение времени планирования операции, снижение риска интраоперационных осложнений и повышение удовлетворенности пациентов результатами лечения.

Заключение

Цифровая дентальная фотография значительно обогатила практику врачей стоматологов-хирургов, предоставив многочисленные возможности для улучшения диагностики, планирования лечения и коммуникации с пациентами. Она позволяет визуализировать структуры полости рта с высоким разрешением, что ранее было недоступно только с помощью традиционных методов осмотра [5]. Также это инструмент значительно упрощает процесс документирования хода лечения, обучения

студентов и обмена информацией с коллегами. Применение цифровой дентальной фотографии улучшает взаимопонимание между врачом и пациентами. Она позволяет пациентам видеть текущее состояние их полости рта и понимать причины того или иного вмешательства, а также осознать ожидаемые результаты лечения. Это, в свою очередь, улучшает соблюдение пациентами рекомендаций врача и увеличивает их удовлетворенность процессом лечения. Кроме того, современные технологии обработки изображений позволяют хирургам точно анализировать мельчайшие детали анатомии зубов и окружающих тканей, что приносит неоспоримые преимущества при планировании сложных операций [4]. Это способствует более точной реализации хирургических вмешательств, снижению риска возможных осложнений и, как следствие, сокращению времени восстановления пациента. В конечном счете, цифровая дентальная фотография является неотъемлемым инструментом в повышении качества оказываемой стоматологической помощи. Благодаря улучшению визуализации, точности и наглядности этот метод открывает новые направления для исследований в области дентальной хирургии, стимулируя дальнейшее развитие специальности и внедрение инновационных приемов в ежедневную практику. [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahmed, I., & Whelan, A. (2020). Digital photography in dentistry: Tools and techniques for documenting oral health. *Journal of Dental Surgery*, 12(2), 104–112.
2. Brown, M.T., & Davis, R.H. (2019). Enhancing aesthetic outcomes in surgery: The role of digital dental photography. *Cosmetic Dentistry Review*, 6(1), 45–59.
3. Li, S., & Thompson, C., (2021). Digital Dental Photography: A Guide to Clinical Practice and Surgical Documentation. *Oral Health Journal*, 29(3), 234–242.
4. Smith, J.K., & Tanaka, T. (2022). Advances in surgical dental photography: Techniques and technology update. *Dental Technology Today*, 14(1), 95–109.
5. Taylor, L., & Martin, N. (2021). Using digital and conventional photography in dental surgery: A comparative approach. *International Journal of Dental Sciences and Research*, 9(2), 150–158.
6. Zhao, Y., & Chen, X. (2019). Role of digital photography in dental diagnostics: A review. *Journal of Dental Research and Practice*, 22(4), 200–207.

© Азизова Дина Анваровна (duim-09@mail.ru); Куандыкова Диана Маратовна (dianakuan@mail.ru);
Галактионова Анастасия Андреевна (a.a.galaktionova@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ НОЗОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЭКСТРЕННЫХ ОБРАЩЕНИЙ С ТРАВМАМИ ОРГАНА ЗРЕНИЯ

ANALYSIS OF THE NOSOLOGICAL STRUCTURE OF EYE INJURIES

S. Aksenova
T. Kumaksheva
E. Khozina
O. Vasilyeva

Summary. The article presents the results of a retrospective analysis of the eye injuries nature and frequency among the adult working-age population based on the State Budgetary Healthcare Institution of Republic of Mordovia «Republican Ophthalmological Hospital» data. A two-fold increase in cases of seeking emergency ophthalmological care was noted from January to June. Only 3 % of eye injuries required hospitalization and subsequent inpatient treatment.

Keywords: eye injury, emergency ophthalmological care, safety precautions.

Аксенова Светлана Владимировна

д.м.н., профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (Саранск, Россия)
aksenovamed@mail.ru

Кумакшева Татьяна Николаевна

старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (Саранск, Россия)
tanya.kumaksheva@mail.ru

Хозина Евгения Александровна

старший преподаватель, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (Саранск, Россия)
eahozina@gmail.com

Васильева Ольга Александровна

к.м.н., доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» (Саранск, Россия);
врач-офтальмолог, Общество с ограниченной ответственностью «Клиника доктора Куренкова» (Москва, Россия)
olga11vasilyeva@gmail.com

Аннотация. В статье представлены результаты ретроспективного анализа характера и частоты встречаемости экстренных обращений с повреждениями органа зрения среди взрослого трудоспособного населения по материалам ГБУЗ РМ «Республиканская офтальмологическая больница». Отмечено увеличение случаев обращаемости за неотложной офтальмологической помощью в период от января к июню в 2 раза. Только в 3 % травма глаза нуждалась в госпитализации и последующем стационарном лечении.

Ключевые слова: травма глаза, неотложная офтальмологическая помощь, техника безопасности.

Актуальность

Травма глаза — это собирательная нозология, включающая все повреждения глаза и/или его придаточного аппарата в результате прямого контакта с неподвижным или подвижным, тупым или острым, горячим предметом, химическими веществами, источниками электроэнергии, различными типами излучения [1].

Данная патология является распространенной в условиях общей офтальмологической практики. Большинство травм являются незначительными, но при отсутствии быстрого и надлежащего лечения могут привести к осложнениям, угрожающим зрению [2]. В структуре исходов, приводящих к инвалидности, основную группу занимают пациенты с формированием бельма роговицы (30 %), аномалии (25 %) и субатрофией глазного яблока (13 %) [3].

Учитывая, что основную группу пациентов с повреждениями органа зрения составляют люди трудоспособного возраста (65,5–70,6 % пациентов в возрасте от 20 до 45 лет), эта патология является важной медико-социальной проблемой [2].

Травмы глаз чаще всего встречаются среди мужчин, чем у женщин, так как они работают на предприятиях с высоким риском травматизма, в том числе и глазного [4]. Так, работа с металлом, например, при ударе молотком, шлифовании или резке, является одним из наиболее распространенных источников производственных травм глаз. Другие производственные опасности, которые часто приводят к повреждениям, включают химические вещества — кислоты, щелочи, чистящие растворы, и искусственное излучение, например, при сварке [5].

В большинстве случаев, травмы глаз развиваются при неиспользовании индивидуальных средств защиты (чаще всего очки), что является результатом их отсутствия на рабочем месте или нежеланием использования самим работником, пренебрегающим правилами безопасности. Таким образом, данные повреждения можно было бы предотвратить путем обеспечения работников подходящими защитными средствами, а также строгого контроля соблюдения правил техники безопасности на производстве [6].

Предотвращение необратимой потери зрения в результате травм глаз требует точной начальной оценки и ранней диагностики, включая качественную первичную офтальмологическую помощь. Следует учитывать, что из-за больших расстояний между местом жительства пациента и больницей, в которой оказывается специализированная офтальмологическая помощь, увеличиваются сроки обращения за медицинской помощью и увеличиваются риски неблагоприятных исходов для зрительных функций [4].

Цель работы

Проанализировать характер и частоту встречаемости экстренных обращений с повреждениями органа зрения среди населения Республики Мордовия по результатам работы дежурных врачей-офтальмологов ГБУЗ Республики Мордовия «Республиканская офтальмологическая больница» за I полугодие 2024 г.

Материал и методы

Ретроспективно проанализированы, по журналам обращений в кабинет неотложной офтальмологической помощи ГБУЗ Республики Мордовия «Республиканская офтальмологическая больница», данные 2150 пациентов, обратившихся на прием с 1 января 2024 г. по 30 июня 2024 г. Данное лечебное учреждение оказывает оф-

тальмологическую помощь (в том числе неотложную) городскому и сельскому населению, а также иногородним жителям. При обращении пациентам проводились физикальные и инструментальные исследования для оценки состояния органа зрения. После обследования всем пациентам была оказана специализированная офтальмологическая помощь в объеме, предусмотренном стандартами оказания специализированной помощи.

Результаты

Среди пациентов кабинета неотложной офтальмологической помощи, с учетом разных возрастных групп, преобладали взрослые мужчины 73,8 % (1586 случаев), взрослых женщин обратилось в 4 раза меньше — 22,7 % (489 случаев), что соответствует типичному гендерному соотношению во многих странах [8, 9, 10]. Самая многочисленная группа пациентов находится в возрастной категории 31–50 лет: женщины — 52,8 % (270 случаев), мужчины — 49,4 % (809), что является значимой социально-экономической проблемой среди трудоспособного населения [11]. 75 обращений (3,5 %) пришлось на детей обоего пола в возрасте до 17 лет включительно. Средний возраст пациентов составил 41 ± 2 года (табл. 1).

Таблица 1.

Распределение пациентов по возрастным группам

Пол	Возрастная группа					
	Всего	0–17 лет	18–30 лет	31–50 лет	51–60 лет	61 и более
Мужчины	1639 (76,2 %)	53 (3,2 %)	233 (14,2 %)	809 (49,4 %)	386 (23,6 %)	158 (9,6 %)
Женщины	511 (23,8 %)	22 (4,3 %)	80 (15,6 %)	270 (52,8 %)	86 (16,8 %)	53 (10,4 %)

При анализе ответов пациентов о месте получения повреждения было отмечено, что травма носила бытовой характер. Это может быть связано с тем, что пациенты, опасаясь негативных последствий на работе, заведомо ложно регистрировали травму как бытовую. Поэтому данный факт не является абсолютно достоверным.

Из табл. 2 видно, что число случаев обращений за неотложной офтальмологической помощью увеличилось в период от января к июню в 2 раза. Так, в январе было зафиксировано 239 случаев (11,1 %), а к июню данный показатель возрос до 501 (23,4 %). Возможно, это связано с тем, что в весенне-летний период увеличиваются придомовые и сельскохозяйственные работы среди населения. Было выявлено, что городские жители обращаются чаще (69,2 %), чем сельские (30,8 %), что возможно связано с более доступной экстренной офтальмологической помощью, а также большим количеством промышленных предприятий/заводов, располагающихся в городе.

Таблица 2.
Динамика обращаемости населения за офтальмологической помощью при травмах органа зрения за I полугодие 2024 г.

Месяц	Число случаев	по месту жительства	
		городских жителей	сельских жителей
Всего случаев обращений	2150 (100 %)	1487 (69,2 %)	663 (30,8 %)
Январь	239 (11,1 %)	156 (10,5 %)	83 (12,5 %)
Февраль	282 (13,1 %)	200 (13,4 %)	82 (12,4 %)
Март	293 (13,6 %)	196 (13,2 %)	97 (14,6 %)
Апрель	398 (18,5 %)	279 (18,8 %)	119 (17,9 %)
Май	437 (20,3 %)	306 (20,5 %)	131 (19,8 %)
Июнь	501 (23,4 %)	350 (23,5 %)	151 (22,8 %)

Структура травм органа зрения по основным этиологическим группам представлена в табл. 3. Самой частой причиной обращений в кабинет неотложной помощи являются инородные тела конъюнктивы век/глазного яблока (49%). На втором месте — инородные тела роговицы (26,6%), на третьем — эрозия роговицы (7,7%). Ранения глазного яблока (проникающие и непроникающие) встречаются в 1,3% случаев (28 пациентов). Пациенты данной группы были госпитализированы с целью дальнейшего лечения. Всего было госпитализировано 65 пациентов из 2150 обращений, что составляет 3%. Таким образом, большинство травм являются не тяжелыми и подлежат амбулаторному лечению.

Заключение

За анализируемый период зафиксировано 2150 случаев экстренных обращений пациентов с повреждениями органа зрения. Чаще за медицинской помощью

Таблица 3.
Структура травм органа зрения по данным обращений в кабинет неотложной офтальмологической помощи за I полугодие 2024 г.

Виды глазного травматизма	Пол		Общее количество
	мужчины	женщины	
Всего случаев обращений	1639 (76,2 %)	511 (23,8 %)	2150 (100 %)
Инородное тело конъюнктивы век/глазного яблока	671 (40,9 %)	383 (75 %)	1054 (49 %)
Инородное тело роговицы	562 (34,3 %)	10 (1,9 %)	572 (26,6 %)
Эрозия роговицы	135 (8,2 %)	30 (5,9 %)	165 (7,7 %)
Контузии глазного яблока	71 (4,3 %)	8 (1,6 %)	79 (3,7 %)
Ссадины век/гематома век	61 (3,7 %)	10 (1,9 %)	71 (3,3 %)
Термический ожог	17 (1 %)	13 (2,5 %)	30 (1,4 %)
Химический ожог	28 (1,7 %)	39 (7,6 %)	67 (3,1 %)
Гипосфагма	35 (2,1 %)	15 (2,9 %)	50 (2,3 %)
Электроофтальмия	33 (2 %)	1 (0,2 %)	34 (1,6 %)
Проникающие/непроникающие ранения глазного яблока	27 (1,8 %)	1 (0,2 %)	28 (1,3 %)

обращались мужчины (73,8%), из которых пациенты наиболее трудоспособного возраста находились в группе от 31 до 50 лет (49,4%). Наибольший процент обращений из всех нозологий составили инородные тела конъюнктивы век/глазного яблока (49%). Только в 3% травма глаза нуждалась в госпитализации и последующем стационарном лечении. С целью профилактики глазного травматизма и, как следствие слабости зрения после него, необходимо проведение санитарно-просветительной работы среди сотрудников промышленных предприятий, а также среди населения; соблюдение правил и норм техники безопасности во время работы.

ЛИТЕРАТУРА

- Касымов, Ф.О. Механическая травма органа зрения. Учебное пособие / Ф.О. Касымов, В.С. Куликов, В.П. Николаенко, Н.Г. Зумбулидзе. — СПб.: Издательство ГБОУ ВПО СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2015. — 51 с.
- Глазной травматизм в Российской Федерации / А.В. Петраевский, И.А. Гндоян, К.С. Тришкин, А.Р. Виноградов // Вестник офтальмологии. — 2018. — Т. 134, № 4. — С. 80–83. — DOI 10.17116/oftalma201813404180.
- Анализ структуры и исходов травм на ранее оперированных глазах / Н.А. Собянин, Ю.А. Аршина, Л.Г. Петропавловская, Т.В. Гаврилова // The Eye Глаз. — 2021. — Т. 23, № 1(133). — С. 23–27. — DOI 10.33791/2222-4408-2021-1-23-27.
- Shamuratov, U.A. Etiology, occupational risk and socio-economic factors of eye injuries / U.A. Shamuratov, K.B. Yrysov, Sh.Zh. Mashrapov // Научное обозрение. Медицинские науки. — 2022. — № 6. — Р. 49–53
- Hoskin, A.K. Eye Injuries across history and the evolution of eye protection / Hoskin AK, D.A. Mackey, L. Keay, R. Agrawal, S. Watson // Acta Ophthalmol. — 2019. — V. 97, № 6. — Р. 637–643. — doi: 10.1111/aos.14086.
- Almoosa, A. Occupational Eye Injury: The Neglected Role of Eye Protection / A. Almoosa, A. Asal, M. Atif, S. Ayachit // Bahrain Medical Bulletin. — 2017. — V. 39. — Р. 82–84.

7. Клинико-статистический анализ ожоговой травмы глаз взрослого населения тюменской области по данным круглосуточного стационара за период 2016–2019 гг. / М.Н. Пономарева, Е.Е. Савина, И.М. Петров [и др.] // Уральский медицинский журнал. — 2020. — № 6(189). — С. 165–168. — DOI 10.25694/URMJ.2020.06.34.
8. Анализ глазного травматизма взрослого населения волгоградской области за 2013–2015 гг. / А.В. Петраевский, И.А. Гндоян, К.С. Тришкин [и др.] // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. — 2016. — № 4(60). — С. 78–81.
9. Собянин, Н.А. Анализ структуры и исходов травм на ранее оперированных глазах / Ю.А. Аршина, Л.Г. Петропавловская, Т.В. Гаврилова // The Eye Глаз. — 2021. — Т. 23, № 1(133). — С. 23–27. — DOI 10.33791/2222-4408-2021-1-23-27.
10. Canner et al. Epidemiology of Eye-Related Emergency Department Visits / R. Channa, S.N. Zafar, K. Joseph // Ophthalmol. — 2016. — V. 134. № 3. — P. 312–319.
11. Кузнецов, С.Л. Эпидемиология обращаемости больных с травмами и острыми заболеваниями глаз и придаточного аппарата по данным кабинета неотложной офтальмологической помощи ГБУЗ «Пензенская областная офтальмологическая больница» / С.Л. Кузнецов, О.В. Шалдыбина, Р.С. Галеев [и др.]. — Текст: непосредственный / Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2016. — т.21. — №4. — С.1597–1606. 2016. №4. URL: <https://>

© Аксенова Светлана Владимировна (aksenovamed@mail.ru); Кумакшева Татьяна Николаевна (tanya.kumaksheva@mail.ru);
Хозина Евгения Александровна (eahozina@gmail.com); Васильева Ольга Александровна (olga11vasilyeva@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОЦЕНКА ВЫЖИВАЕМОСТИ, БЛИЖАЙШИХ И ОТДАЛЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ НА РАБОТАЮЩЕМ СЕРДЦЕ У ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЧЕСКОЙ БОЛЕЗНЬЮ СЕРДЦА И ТЯЖЕЛОЙ КОМОРБИДНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ

EVALUATION OF SURVIVAL, IMMEDIATE AND LONG-TERM OUTCOMES AFTER OFF-PUMP CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING IN PATIENTS WITH ISCHEMIC HEART DISEASE AND SEVERE COMORBID PATHOLOGY

M. Askerov
G. Khubulava
A. Bukur
M. Delovaya
V. Efendiev

Summary. Aim — to study the immediate results and long-term survival after myocardial revascularization by off-pump coronary artery bypass grafting (OPCABG) conditions in patients with coronary artery disease (CAD) suffering from severe comorbid pathology assessed by the Charlson-Deyo index and to determine its prognostic significance.

Material and methods. This study included 187 patients who underwent OPCABG, of which 162 patients (87 %) were followed up in the long term. The average age of the patients was 68.8 ± 7.1 years. The Charlson-Deyo comorbidity index was 8.4 ± 1.6 points, which prognostically corresponds to 42 % survival within 5 years. We studied long-term survival, the frequency of cardiac complications, and repeated interventions in the immediate and long term. The average follow-up period was 76 ± 25 months.

Results. Overall, in-hospital mortality was 3.2 %, myocardial infarction was 3.2 %, stroke was 0.5 %, re-interventions were 1.6 %, and the length of stay in the intensive care unit was 36 ± 20 hours. Remote survival was 72.3 %, 14.8 % of patients died from cardiac causes, MI and stroke were observed in 7.4 % and 11.8% of patients, respectively. The frequency of repeated revascularization was 22.8 %, and conduit function was 84 %.

Conclusions. Remote survival in patients with coronary artery disease and severe comorbid pathology after OPCABG was higher than the prognostic assessment of the Charlson-Deyo scale, which indicates a positive effect of coronary artery bypass grafting on survival. Key words: ischemic heart disease, coronary artery bypass grafting, Charlson-Deyo index, comorbidity, survival.

Keywords: ischemic heart disease, coronary artery bypass grafting, Charlson-Deyo index, comorbidity, survival.

Аскеров Магомедэмин Ахмедалиевич

канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург отделения кардиохирургии СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», Санкт-Петербург, askerovma@mail.ru

Хубулава Геннадий Григорьевич

доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, руководитель кардиохирургического центра СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», Санкт-Петербург ggkh07@rambler.ru

Букур Александр Максимович

клинический ординатор отделения кардиохирургии, СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», Санкт-Петербург bukur9ka@rambler.ru

Делова Мария Алексеевна

канд. мед. наук, заведующая кардиологическим отделением СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», Санкт-Петербург m.delova@mail.ru

Эфендиев Видади Умудович

канд. мед. наук, сердечно-сосудистый хирург, заведующий отделением кардиохирургии СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница», Санкт-Петербург vidadiue@gmail.com

Аннотация. Цель исследования — изучить ближайшие результаты и выживаемость в отдаленном периоде после реваскуляризации миокарда методом коронарного шунтирования (КШ) в условиях работающего сердца (РС) у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) страдающих тяжелой коморбидной патологией, оцененной посредством индекса Чарлсон-Дейо и определить ее прогностическую значимость.

Материал и методы. Обследованы 187 пациентов из которых 162 (87 %) в отдаленном периоде, которым было выполнено КШ в условиях РС. Средний возраст пациентов составил $68,8 \pm 7,1$ год. Индекс коморбидности Чарлсон-Дейо — $8,4 \pm 1,6$ баллов, что прогностически соответствует 42 % выживаемости в течение 5 лет. Изучена отдаленная выживаемость, частота кардиальных осложнений, повторных вмешательств в ближайшие и отдаленные сроки. Средний срок наблюдения — 76 ± 25 мес.

Результаты. Летальность в госпитальном периоде составила 3,2 %, инфаркт миокарда (ИМ) — 3,2 %, ОНМК — 0,5%, повторных вмешательств было 1,6 %, длительность нахождения в отделении реанимации — 36 ± 20 часов. Отдаленная выживаемость составила 72,3%, от кардиальных причин умерли 14,8 % пациентов, ИМ и ОНМК наблюдались у 7,4 % и 11,8 % пациентов соответственно. Частота повторной реваскуляризации — 22,8 %, функционирование кондуитов 84 %.



Введение

В структуре смертности от болезней системы кровообращения ИБС на протяжении многих лет занимает лидирующее место [1]. Основными методами лечения ИБС остаются консервативная терапия и реваскуляризация миокарда. КШ как один из вариантов реваскуляризации миокарда доказало свою эффективность при стенокардии и многососудистом поражении коронарного русла [2]. После реваскуляризации миокарда выживаемость в отдаленные сроки достоверно повышается в сравнении с консервативной терапией у пациентов с значимым атеросклеротическим поражением основных коронарных артерий [3]. Одним из методов КШ является вмешательство на работающем сердце, которое зарекомендовало себя как эффективный метод лечения ИБС в особенности у пациентов высокого хирургического риска [4]. С ростом продолжительности жизни, идет увеличение числа возрастных пациентов страдающих коморбидной патологией. Согласно литературным данным, сочетанием двух и более болезней страдают более 90% людей старше 65 лет [5]. За последние 10 лет старческий возраст и коморбидность стали частыми спутниками хирургических вмешательств. Риски хирургического лечения ИБС на фоне тяжелой коморбидной патологии существенно возрастают [6]. Для оценки периоперационного риска летального исхода сердечно-сосудистого вмешательства в настоящее время рутинно используют шкалы Euro SCORE II и STS, при этом прогноз отдаленных результатов остается без должного внимания [7]. Существует множество шкал оценки коморбидности из которых индекс Чарлсон (Charlson index) модифицированный Дейо (Charlson-Deyo-Comorbidity-Index — CCI) в настоящее время зарекомендовал себя как наиболее достоверной инструмент позволяющий прогнозировать выживаемость в отдаленные сроки после хирургических вмешательств и методов консервативного лечения [8,9,10]. Валидированный первичный индекс коморбидности Чарлсон использовался для прогнозирования выживаемости пациентов после реваскуляризации и продемонстрировал высокую надежность [11]. Недостатком данного исследования является то, что в нем не было разделения пациентов по группам в зависимости от метода КШ и использовался первичный индекс Чарлсона, в котором не учитывался вклад сердечно-сосудистой патологии в оценку прогноза.

Выводы. Выживаемость в отдаленные сроки у пациентов с ИБС и тяжелой коморбидной патологией после КШ в условиях РС была выше прогностической оценки шкалы Чарлсон-Дейо, что свидетельствует о положительном эффекте КШ на выживаемость и диктует необходимость дальнейшей модификации индекса.

Ключевые слова: ишемическая болезнь сердца, коронарное шунтирование, индекс Чарлсон-Дейо, коморбидность, выживаемость.

Согласно отдельным наблюдательным исследованиям, метод реваскуляризации миокарда путем КШ в условиях работающего сердца имеет достоверно лучшие результаты по выживаемости в сравнении с КШ, выполненным на остановленном сердце с искусственным кровообращением [12,13]. В противовес приведенным наблюдательным исследованиям, рандомизированные не продемонстрировали различий по выживаемости и кардиальным осложнениям [14,15,16]. Исходя из данного противоречия прогнозирование отдаленной выживаемости без разделения на группы в зависимости от метода реваскуляризации и тяжести коморбидной патологии можем иметь существенные недостатки. Таким образом оценка тяжести коморбидного фона индексом Чарлсон-Дейо и определение его прогностической значимости у пациентов с ИБС, прооперированных методом КШ в условиях работающего сердца, является актуальной задачей.

Материал и методы

Обследовано 187 пациентов, которым выполнялось изолированное КШ в условиях РС. Средний возраст пациентов составил $69,1 \pm 5,6$ года. Оценка тяжести коморбидного фона перед операцией проводилась по модифицированному индексу Чарлсон-Дейо. Данная шкала рекомендована как наиболее достоверная для прогнозирования отдаленной выживаемости при различных патологиях, в том числе у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями [17].

При сумме баллов ≥ 5 , прогностическая десятилетняя выживаемость составляет 21 % [26,27]. Показания к реваскуляризации миокарда методом КШ после коронарографии определялись при помощи шкалы оценки тяжести поражения коронарного русла SYNTAX Score [18]. Критериями исключения были пациенты с острым коронарным синдромом, прооперированные в сроки менее 10 дней от момента постановки диагноза, нестабильная гемодинамика перед операцией, аневризма левого желудочка (ЛЖ), значимая клапанная дисфункция, сочетанные вмешательства на других артериальных бассейнах.

Доступ к сердцу при выполнении КШ осуществлялся посредством полной срединной стернотомии. Экспози-

ция области вмешательства проводилась при помощи стабилизатора миокарда, глубокого перикардiallyного шва, фиксатора верхушки сердца. У всех пациентов на этапе формирования дистальных анастомозов применялись внутрикоронарные шунты соответствующей размерной линейки. Объемные и скоростные потоки по кондуитам измерялись методом флоуметрии.

В госпитальном периоде в течение 30 дней оценивались следующие показатели: общая летальность, смертность от кардиальных осложнений, периоперационный нефатальный ИМ, ОНМК, потребность в трансфузии компонентов крови, повторные вмешательства, длительность нахождения в реанимации. Отдаленные результаты отслежены у 87 % (162) пациентов. По показаниям, пациентам проводилось клиничко-инструментальное обследование в стационарных условиях. В отдаленном периоде первичными конечными точками явились: выживаемость, летальность от кардиальных и сосудистых событий, частота ИМ и ОНМК. Вторичными конечными точками были: функциональный класс стенокардии, повторные вмешательства на сердечно-сосудистой системе, функционирование кондуитов. Длительность наблюдения составила от 1 года до 10 лет, в среднем 6,3±2,1 года (75±25 мес.). Клиничко-инструментальные характеристики прооперированных пациентов представлены в таблице 1.

Для статистической обработки данных использовали следующие статистические показатели: среднего значения, стандартной ошибки среднего. Выживаемость больных в отдаленном периоде оценивали методом актуарных кривых Каплан—Мейера. Статистические расчеты выполнены с помощью пакета статистического анализа «Statistica 7.0».

Таблица 1.

Клиничко-инструментальная характеристика пациентов

Всего пациентов	n=187
Возраст	68.8±7.1 лет
Пол	мужчины — 71,1 % (133) женщины — 28,9 % (54)
Индекс массы тела	29±2,8 кг/м ²
Стенокардия III–IV ФК	70 % (131)
Сердечная недостаточность III–IV ФК	45,9 % (86)
Курильщики	39 % (73)
Фракция выброса ≤ 50 %	33,1 % (62)
Конечный диастолический объем ЛЖ	106±28 мл
Давление в легочной артерии ≥ 25 мм рт. ст.	47,6 % (89)

Диастолическая дисфункция ЛЖ	48,6 % (91)
Сахарный диабет (всего) — из них декомпенсированный с переводом на инсулин	42,8 % (80) 18,7 % (35)
Периферический атеросклероз	59,4 % (111)
Патология ЖКТ, из них эрозии ЖКТ	47,5 % (87) 12,8 % (24)
Хроническая болезнь почек ≥ III ст.	25,7 % (48)
Гемоглобин ≤ 130 г/л	44,9 % (84)
Острый коронарный синдром	32,6 % (61)
ИМ в анамнезе	43,3 % (81)
ХОБЛ I–II ст. ХОБЛ ≤ III ст.	16,6 % (31) 10,2 % (19)
ОНМК в анамнезе	22,5 % (42)
Индекс реваскуляризации	2,5±0,7
Длительность вмешательства	238±56 мин.
Euro SCORE II	5,9±3,4
SYNTAX score	28,2±4,5
Индекс коморбидности Чарлсон — Дейо	8,4±1,6

Результаты

При анализе ближайших результатов в течение 30 дней общая летальность составила 3,2 %, из которых от кардиальных причин умерли 2,7 %. Периоперационный нефатальный ИМ 5 типа и ОНМК наблюдались в 3,2 % и 0,5 % случаев соответственно. Кровопотеря по дренажам в первые сутки после операции составила 364±110 мл. Рестернотомия по поводу кровотечения выполнена у 3 (1,6 %) пациентов. Гемотрансфузию компонентов крови пациенты получили в 20,9 % случаев. Средние сроки нахождения в отделении реанимации 36±20 часов (от 12 часов до 15 суток). Инфекционные осложнения в госпитальном периоде со стороны послеоперационных ран отмечались у 4 пациентов (2,2 %), из которых у 2 (1,1 %) случилась глубокая раневая инфекция потребовавшая вакуумтерапии и реостеосинтеза. Отдаленные результаты отслежены у 162 пациентов (87 %). Средний срок наблюдения составил 78±25 мес. Выживаемость в отдаленном периоде, оцененная кривыми Каплан-Мейера, составила 73,5 % (рисунок 1) при исходном индексе Чарлсон-Дейо — 8,4±1,6 и периоперационном хирургическом риске по Euro SCORE II — 5,9±3,4. Смерть от кардиальных причин зафиксирована в 14,8 %, от некардиальных — 11,7 %. ИМ в отдаленные сроки диагностирован у 12 пациентов, ОНМК у 18, что составило 7,4 % и 11,1 % соответственно. Повторные вмешательства при

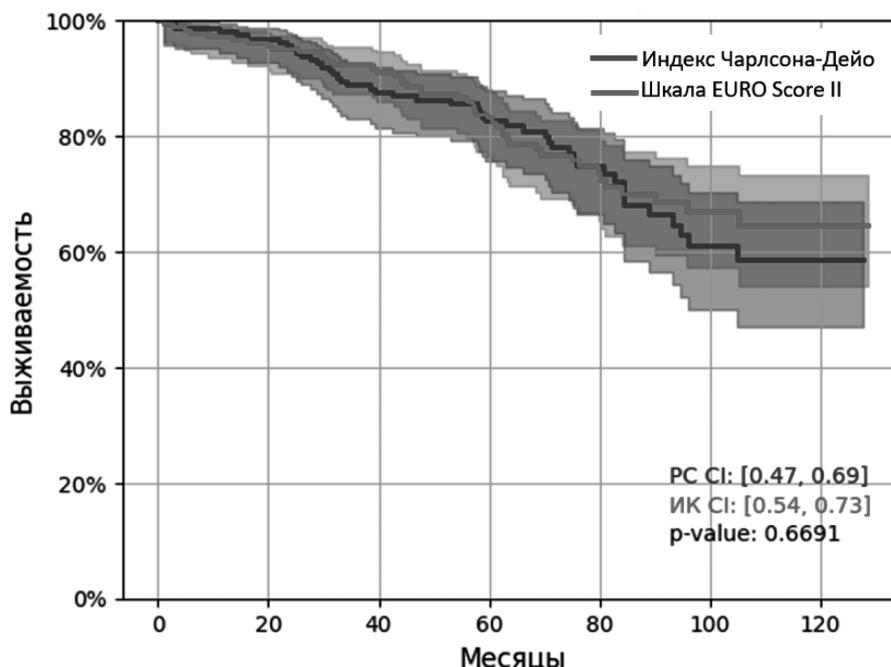


Рис. 1. Отдаленная выживаемость после КШ

патологии сердечно-сосудистой системы выполнены в 22,8 % случаев, из них повторная реваскуляризация — 11,1 %, реконструктивные операции на периферических артериях — 9,2 %, вмешательства при аритмиях — 3,7 %. Инфекционные осложнения области хирургического вмешательства в отдаленном периоде зафиксированы в 12,3 % случаев, из которых 9,2 % на нижней конечности после забора большой подкожной вены (БПВ) в качестве аутовенозного кондуита. Стенокардия I-II и III-IV функциональных классов отмечена в 83,7 % и 11,7 % соответственно. Регулярно наблюдались у кардиолога и были привержены к терапии 92 % наблюдаемых. Коронарошунтография выполнена по показаниям у 50 (31 %) пациентов с суммарным количеством кондуитов — 124, из которых 49 (39,5 %) левая внутренняя грудная артерия (ЛВГА), 75 (60,5 %) БПВ. Общая проходимость кондуитов 84 %, из которых функционирование ЛВГА и БПВ составили 93 % и 78 % соответственно.

Обсуждение

Коморбидность пациентов в современных реалиях является неотъемлемой частью лечения пациентов во всех областях и направлениях медицинской деятельности. Термин «коморбидность» (от лат. *co* — вместе, *morbus* — болезнь) был предложен в 1970 г. врачом эпидемиологом А. Feinstein, который оказал большое влияние на развитие и внедрение методик статистического анализа и учета данных при проведении клинических исследований. А. Feinstein вкладывал в это понятие наличие дополнительной патологии, усугубляющей течение основного заболевания, которое связано с ним этио-патогенетически или имеет самостоятельное теч-

ние [19]. Первую классификацию коморбидности предложили Н.С. Kraemer и М. Akker. Они же определили факторы, влияющие на развитие коморбидности, которыми могут быть: хроническое воспаление, возрастные метаболические изменения, процессы инволюции тканей, генетическая предрасположенность, географические условия проживания, социальные статус и ятрогенное воздействие, но самым главным и неизменным фактором уровня коморбидности считали возраст [20,21,22]. Об увеличении числа коморбидных пациентов говорят результаты исследования, где с 1988 по 2008 количество больных с пятью и более заболеваниями увеличилось с 42 % до 58 %, а наличие двух и более заболеваний при достижении возраста старше 65 лет выявлено у 85 %, старше 70 лет у 95% исследуемых [23,24]. Доказано, что коморбидный фон увеличивается с 10% в возрасте до 19 лет до 80 % у лиц 80 лет и старше [25]. Так же продемонстрировано, что для возраста 66–70 лет сочетание заболеваний составляет $5,4 \pm 1,4$, для 71–75 лет — $5,6 \pm 1,7$, для 76–80 лет — $5,8 \pm 1,6$, для 81–85 лет — $5,8 \pm 1,8$ [26,27,28].

Для оценки коморбидности применяются множество шкал. И них наиболее часто используемые в отечественной литературе являются [27,28]: Charlson index, CIRS (Cumulative Illness Rating Scale), CIRS-G (Cumulative Illness Rating Scale for Geriatrics), DUSOI Index (The Duke Severity of Illness Checklist), ICED (Index of Co-Existent Disease), Kaplan-Feinstein Index. Одним из наиболее часто используемых является индекс Чарлсон (Charlson index), который был предложен клиническим эпидемиологом и исследователем в области здравоохранения Mary Charlson в 1982 году как шкала оценки прогноза выживаемости

больных в отделенном периоде наблюдения при наличии коморбидной патологии [29]. Со временем Индекс Чарлсон доказав свою достоверность стал одним из востребованных инструментов для прогнозирования выживаемости у коморбидных пациентов [30,31,32]. Оценивается индекс Чарлсон по сумме баллов в зависимости от наличия тех или иных заболеваний и их количества. В индекс включено 21 заболевание, а основным фактором при оценке является возраст добавляя 1 балл на каждую декаду при превышении 40 лет. По данным многочисленных исследований в которых в качестве прогностического инструмента применялся индекс Чарлсон выявлено, что при отсутствии коморбидности риск 10-летней смерти составлял 12 %, при сумме 1–2 балла — 26 %, 3–4 балла — 52 %, при сумме 5 баллов и более — 85 % [33,34,35,36]. В 11 обзорных статьях посвященных прогностической достоверности индекса Чарлсон у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, показано, что увеличение значения хотя бы на один балл достоверно коррелирует со значительным повышением риска смерти у пациентов с острым коронарным синдромом (ОР 1,33; 95 % ДИ 1,15–1,54), стабильной ишемической болезнью сердца (ОР 1,38; 95 % ДИ 1,29–1,48) [37]. Сведения о 6 613 623 пациентах с ОКС из Национальной базы данных стационарных больных США за период с 2004 по 2014 год демонстрируют, что высокая градация индекса Чарлсон ≥ 3 отрицательно коррелирует с частотой выполнения коронароангиографии и лечебных вмешательств на коронарных артериях (ОШ 0,52; 95 % ДИ [0,41; 0,43] и ОШ 0,47; 95 % ДИ [0,46; 0,48] соответственно), несмотря на увеличение риска острых сердечно-сосудистых и цереброваскулярных событий (ОШ 1,7; ДИ [1,66; 1,75]) и летальности в госпитальном периоде (ОШ 1,74; ДИ [1,68; 1,79]) [38]. В исследовании «MADDEC» при изучении ассоциации значения индекса Чарлсон и прогноза 1576 пациентов с ОКС через 1 год показано, что прогностическая значимость индекса Чарлсон у данной категории больных увеличивается при более длительном наблюдении [39]. Модифицированный индекс Чарлсон был предложен A. Deo и соавт. В котором стали учитывать влияние сердечно-сосудистой патологии на прогноз [40]. Авторы изучили взаимосвязь значения модифицированного индекса Чарлсон с такими показателями, как средняя продолжительность нахождения в стационаре, потребность в трансфузии компонентов крови, затраты на лечение, летальность в течение 6 недель после операции, при этом изучение годовой и отдаленной летальности с помощью индекса Чарлсон-Дейо не проводилась. Однако в литературе имеются сведения об использовании первичной шкалы Чарлсон для прогноза смертности и повторных госпитализаций после КШ. В работе продемонстрировано, что индекс Чарлсон может служить полезным инструментом для стратификации рисков в среднесрочной перспективе у пациентов, перенесших КШ, когда недоступны переменные для специально разработанных индексов STS

и ASCERT. Однако индекс ASCERT лучше подходит для расчета 5-летней смертности [40]. В нашем исследовании мы изучили ближайшие и отдаленные результаты, выживаемость в отдаленном периоде и прогностическую значимость индекса Чарлсон-Дейо у коморбидных пациентов после КШ в условиях РС. Критерии индекса Чарлсон-Дейо приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Критерии для определения коморбидного индекса Чарлсон-Дейо

Заболевания или состояния	Балл
Инфаркт миокарда	1
Сердечная недостаточность	1
Поражение периферических сосудов (наличие перемежающейся хромоты, аневризма аорты более 6 см, острая артериальная недостаточность, гангрена)	1
Преходящее нарушение мозгового кровообращения	1
Острое нарушение мозгового кровообращения с минимальными остаточными явлениями	1
Деменция	1
Бронхиальная астма	1
Хронические неспецифические заболевания легких	1
Коллагенозы	1
Язвенная болезнь желудка и/или двенадцатиперстной кишки	1
Цирроз печени без портальной гипертензии	1
Сахарный диабет без конечно-органных поражений	1
Хроническая анемия средней степени тяжести	1
Острое нарушение мозгового кровообращения с гемиплегией или параплегией	2
Хроническая почечная недостаточность с уровнем креатинина > 3 мг %	2
Сахарный диабет с конечно-органными поражениями	2
Злокачественные опухоли без метастазов	2
Острый и хронический лимфо- или миелоплейкоз	2
Лимфомы	2
Цирроз печени с портальной гипертензией	3
Злокачественные опухоли с метастазами	6
Синдром приобретенного иммунодефицита	6
Начиная с 40 лет + 1 балл на каждую следующую декаду жизни	9

Было выявлено, что ближайшие результаты КШ по исследуемым показателям не отличаются от приведенных

в литературе данных, а отдаленная выживаемость, которая в нашем исследовании составила 73,5 % выше прогностических значений индекса Чарлсон-Дейо на 31 %. Так же анализ показал, что оценка риска хирургического вмешательства шкалой EURO Score II демонстрирует сопоставимую с индексом Чарлсон-Дейо прогноз выживаемости. Без сомнения, индекс оценки коморбидности Чарлсон-Дейо является эффективным инструментом для прогнозирования выживаемости у пациентов с сердечно-сосудистой патологией, но в нем учитывается сам факт реваскуляризации и его влияние на отдаленную выживаемость. О положительном эффекте КШ в отдаленном периоде говорит не только процент выживаемости, но и высокое качество жизни пациентов и ФК стенокардии, где I–II класс имели 87,3 %, тогда как до операции III–IV ФК стенокардии был у 70 % пациентов. Так же важно отметить, что большинство прогностических шкал не учитывают основной фактор, влияющий на долгосрочную выживаемость у пациентов с ИБС, каким является восстановленное коронарное кровообращение. В нашем исследовании в отдаленные сроки (в среднем через 6 лет) функционирование шунтов зафиксиро-

вано в 84 % случаев, что является одним из основных факторов выживаемости и свободы от кардиальных осложнений [2,15,16]. Данный показатель не учитывается в прогностических шкалах и, в частности, в индексе Чарлсон-Дейо. Возможность дальнейшей модификации прогностического индекса Чарлсон-Дейо с учетом выполненного вмешательства имеет позитивную перспективу для повышения точности прогноза в отдаленные сроки после реваскуляризации миокарда.

Заключение

КШ в условиях работающего сердца у пациентов с тяжелой коморбидной патологией является эффективной процедурой, направленной на улучшения качества жизни и выживаемости в отдаленном периоде. Индекс Чарлсон-Дейо позволяет прогнозировать выживаемость пациентов с сердечно-сосудистой патологией в отдаленные сроки, но требует дальнейшей модификации с целью повышения прогностической точности с учетом реваскуляризации миокарда методом КШ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сердечно-сосудистая хирургия — 2023. Болезни и врожденные аномалии системы кровообращения / Бокерия Л.А., Милюевская Е.Б., Прянишников В.В., Юрлов И.А. — М.: НМИЦ ССХ им. А.Н. Бакулева Минздрава России, 2023. — 2–6 с.
2. Windecker S, Stortecky S, Stefanini GG, da Costa BR, Rutjes AW, Di Nisio M, Silleta MG et al. Revascularisation versus medical treatment in patients with stable coronary artery disease: network meta-analysis. *BMJ*. 2014 Jun 23;348:g3859. doi: 10.1136/bmj.g3859. PMID: 24958153; PMCID: PMC4066935.
3. Jeremias A, Kaul S, Rosengart TK, Gruberg L, Brown DL. The impact of revascularization on mortality in patients with nonacute coronary artery disease. *Am J Med*. 2009 Feb;122(2):152-61. doi: 10.1016/j.amjmed.2008.07.027. PMID: 19185092.
4. Rogers CA, Pike K, Campbell H, Reeves BC, Angelini GD, Gray A, Altman DG, Miller H, Wells S, Taggart DP; CRISP investigators. Coronary artery bypass grafting in high-RISK patients randomised to off— or on-Pump surgery: a randomised controlled trial (the CRISP trial). *Health Technol Assess*. 2014 Jul;18(44):v-xx, 1-157. doi: 10.3310/hta18440. PMID: 25023641; PMCID: PMC4780969.
5. Australian Institute of Health and Welfare (AIHW): Chronic diseases and associated risk factors in Australia, 2006. Canberra, ACT; 2006.
6. Федоров В.Э., Масляков В.В., Асланов А.Д. Коморбидность при хирургических заболеваниях: способы оценки ее тяжести (1 часть) // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. 2020. №3-2.
7. Sullivan PG, Wallach JD, Ioannidis JP. Meta-Analysis Comparing Established Risk Prediction Models (EuroSCORE II, STS Score, and ACEF Score) for Perioperative Mortality During Cardiac Surgery. *Am J Cardiol*. 2016 Nov 15;118(10):1574–1582. doi: 10.1016/j.amjcard.2016.08.024. Epub 2016 Aug 23. PMID: 27687052.
8. Choi J, Choi EW, Choi Y, Hong SY, Suh S, Hong K, Han ES, Lee JM, Hong SK, Yi NJ, Lee KW, Suh KS. Modified Charlson comorbidity index as a survival prediction tool for older patients after liver transplantation. *Ann Surg Treat Res*. 2023 Jun;104(6):358–363. doi: 10.4174/astr.2023.104.6.358. Epub 2023 Jun 7. PMID: 37337600; PMCID: PMC10277175.
9. Scheipner L, Zurl H, Altziebler JV, Pichler GP, Schöpfer-Schwab S, Jasarevic S, Gaisl M, Pohl KC, Pemberger K, Andlar S, Hutterer GC, Bele U, Leitsmann C, Leitsmann M, Augustin H, Zigeuner R, Ahyai S, Mischinger J. Charlson-Deyo Comorbidity Index as a Novel Predictor for Recurrence in Non-Muscle-Invasive Bladder Cancer. *Cancers (Basel)*. 2023 Dec 8;15(24):5770. doi: 10.3390/cancers15245770. PMID: 38136315; PMCID: PMC10742244.
10. Ladha KS, Zhao K, Quraishi SA, Kurth T, Eikermann M, Kaafarani HM, Klein EN, Seethala R, Lee J. The Deyo-Charlson and Elixhauser-van Walraven Comorbidity Indices as predictors of mortality in critically ill patients. *BMJ Open*. 2015 Sep 8;5(9):e008990. doi: 10.1136/bmjopen-2015-008990. PMID: 26351192; PMCID: PMC4563218.
11. Cohan GN, Chin H, Shah A, Miguelino AM, Wang Y, Kilic A, Sultan I, Sciortino CM, Chu D. Charlson Comorbidity Index is Associated With Longer-Term Mortality and Re-Admissions Following Coronary Artery Bypass Grafting. *J Surg Res*. 2022 Jul;275:300-307. doi: 10.1016/j.jss.2022.02.012. Epub 2022 Mar 18. PMID: 35313139.
12. Karabdic IH, Straus S, Granov N, Hadzimehmedagic A, Berberovic B, Kabil E, Djedovic M, Kurtagic D. Off pump Versus On pump Coronary Artery Bypass Grafting: Short-term Outcomes. *Acta Inform Med*. 2023 Jun;31(2):107–110. doi: 10.5455/aim.2023.31.107-110. PMID: 37711485; PMCID: PMC10498367.
13. Dominici C, Salsano A, Nenna A, Spadaccio C, El-Dean Z, Bashir M, Mariscalco G, Santini F, Chello M. Neurological outcomes after on-pump vs off-pump CABG in patients with cerebrovascular disease. *J Card Surg*. 2019 Oct;34(10):941-947. doi: 10.1111/jocs.14158. Epub 2019 Jul 3. PMID: 31269312.
14. Sajja LR, Sarkar K, Mannam G, Padmanabhan C, Narayan P, Kamtam DN, Balakrishna N, Kodali VKK, Mulay A, Peter S, Beri P. Five-year outcomes of off and on-pump CABG: Insights from PROMOTE Patency Trial. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2023 Oct;31(8):659–666. doi: 10.1177/02184923231197642. Epub 2023 Aug 25. PMID: 37624649.

15. Shroyer AL, Hattler B, Wagner TH, Collins JF, Baltz JH, Quin JA, Almassi GH, Kozora E, Bakaeen F, Cleveland JC Jr, Bishawi M, Grover FL; Veterans Affairs ROOBY-FS Group. Five-Year Outcomes after On-Pump and Off-Pump Coronary-Artery Bypass. *N Engl J Med.* 2017 Aug 17;377(7):623–632. doi: 10.1056/NEJMoa1614341. PMID: 28813218.
16. Lamy AR, Devereaux PJ, Yusuf S. Five-Year Outcomes after Off-Pump or On-Pump Coronary-Artery Bypass Grafting. *N Engl J Med.* 2017 Mar 2;376(9):894–895. doi: 10.1056/NEJM1700247. PMID: 28249143.
17. Cohan GN, Chin H, Shah A, Miguelino AM, Wang Y, Kilic A, Sultan I, Sciortino CM, Chu D. Charlson Comorbidity Index is Associated With Longer-Term Mortality and Re-Admissions Following Coronary Artery Bypass Grafting. *J Surg Res.* 2022 Jul;275:300–307. doi: 10.1016/j.jss.2022.02.012. Epub 2022 Mar 18. PMID: 35313139.
18. Scala A, Erriquez A, Verardi FM, Marrone A, Scollo E, Trichilo M, Durante A, Tedeschi D, Cortese B, Ielasi A, Valentini G, Tebaldi M, Campo G, Pavasini R, Biscaglia S. Functional (Re)Development of SYNTAX Score II 2020: Predictive Performance and Risk Assessment. *J Clin Med.* 2023 Sep 8;12(18):5844. doi: 10.3390/jcm12185844. PMID: 37762785; PMCID: PMC10531756.
19. Feinstein A.R. The pre-therapeutic classification of co morbidity in chronic disease // *J. Chronic. Dis.* 1970. Vol. 23. № 7. P. 455–468.
20. Kraemer H.C. Statistical issues in assessing comorbidity // *Stat. Med.* 1995. Vol. 14. № 8. P. 721–733.
21. Van den Akker M., Buntinx F., Roos S., Knottnerus J.A. Comorbidity or multimorbidity: what's in a name? A review of the literature // *Eur. J. Gen. Pract.* 1996. Vol. 2. № 2. P. 65–70.
22. Fortin M., Lapointe L., Hudon C. et al. Multimorbidity and quality of life in primary care: a systematic review // *Health Qual. Life Outcomes.* 2004. Vol. 2. ID51.
23. (Boyd C.M., Darer J., Boulton C. et al. Clinical practice guidelines and quality of care for older patients with multiple comorbid diseases: implications for pay for performance // *JAMA.* 2005. Vol. 294. № 6. P. 716–724.
24. Caughey G.E., Vitry A., Gilbert A.L., Roughead E.E. Prevalence of comorbidity of chronic diseases in Australia // *BMC Public Health.* 2008. Vol. 8. ID221.
25. Australian Institute of Health and Welfare (AIHW): Chronic diseases and associated risk factors in Australia, 2006. Canberra, ACT; 2006.
26. Лазебник Л.Б. Полиморбидность и старение. *Новости мед и фармац.* 2007;1:205.
27. Оганов Р.Г. Коморбидная патология в клинической практике. Клинические рекомендации / Р.Г. Оганов, И.Н. Денисов, В.И. Симаненков и др. // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика.* — 2017. — Т. 16. — 6. — с. 5–56.
28. Сарсенбаева Г.И. Современные подходы к оценке коморбидности у пациентов / Г.И. Сарсенбаева, А.Е. Турсынбекова // *CardioСоматика.* — 2019. — Т. 10. — 1. — с. 19–23.
29. Charlson ME, Pompei P, Ales KL et al. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chron Dis* 1987; 40: 373–83.
30. Van Manen JG, Korevaar JC, Dekker FW et al. How to adjust for comorbidity in survival studies in ESRD patients: a comparison of different indices. *Am J Kidney Dis* 2002; 40: 82–9.
31. Fried L, Bernardini J, Piraino B. Charlson comorbidity index as a predictor of outcomes in incident peritoneal dialysis patients. *Am J Kidney Dis* 2001; 37: 337–42.
32. Hemmelgarn BR, Manns BJ, Quan H et al. Adapting the Charlson Comorbidity Index for use in patients with ESRD. *Am J Kidney Dis* 2003; 42: 125–32.
33. Charlson M, Szatrowski TP, Peterson J, Gold J. Validation of a combined comorbidity index. *J Clin Epidemiol.* 1994 Nov;47(11):1245–51. doi: 10.1016/0895-4356(94)90129-5. PMID: 7722560.
34. Soh C.H. Morbidity Measures Predicting Mortality in Inpatients: A Systematic Review / C.H. Soh, S.W.Ul Hassan, J. Sacre et al. // *J. Am. Med. Dir. Assoc.* — 2020. — Vol. 21. — 4. — p. 462–468.e7.
35. Lee E.S. Systematic review on the instruments used for measuring the association of the level of multimorbidity and clinically important outcomes / E.S. Lee, H.L. Koh, E.Q. Ho et al. // *BMJ Open.* — 2021. — Vol. 11. — 5. — p. e041219.
36. Oemrawsingh A. Patient-Reported Morbidity Instruments: A Systematic Review / A. Oemrawsingh, N. Swami, J.M. Valderas et al. // *Value Health.* — 2020. — Vol. 23. — 6. — p. 791–811.
37. Rashid M. Impact of co-morbid burden on mortality in patients with coronary heart disease, heart failure, and cerebrovascular accident: a systematic review and meta-analysis / M. Rashid, C.S. Kwok, C.P. Gale et al. // *Eur. Heart J. Qual. Care Clin. Outcomes.* — 2017. — Vol. 3. — 1. — p. 20–36.
38. Zhang F. Impact of Charlson Co-Morbidity Index Score on Management and Outcomes After Acute Coronary Syndrome / F. Zhang, A. Bharadwaj, M.O. Mohamed et al. // *Am. J. Cardiol.* — 2020. — Vol. 130. — p. 15–23.
39. Hautamäki M. The association between Charlson comorbidity index and mortality in acute coronary syndrome — the MADDEC study / M. Hautamäki, L.P. Lyytikäinen, S. Mahdiani et al. // *Scand. Cardiovasc. J.* — 2020. — Vol. 54. — 3. — p. 146–152.
40. Cohan GN, Chin H, Shah A, Miguelino AM, Wang Y, Kilic A, Sultan I, Sciortino CM, Chu D. Charlson Comorbidity Index is Associated With Longer-Term Mortality and Re-Admissions Following Coronary Artery Bypass Grafting. *J Surg Res.* 2022 Jul;275:300–307. doi: 10.1016/j.jss.2022.02.012. Epub 2022 Mar 18. PMID: 35313139.

© Аскеров Магомедэмин Ахмедалиевич (askerovma@mail.ru); Хубулава Геннадий Григорьевич (ggkh07@rambler.ru);

Букур Александр Максимович (букур9ка@rambler.ru); Делова Мария Алексеевна (m.delova@mail.ru);

Эфендиев Видади Умудович (vidadiue@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОТКЛОНЕНИЕ АРТИКУЛЯЦИОННОГО ЦЕНТРА CRYSTA GALLI В СТОРОНУ НАКЛОНА ОККЛЮЗИОННОЙ ПЛОСКОСТИ

DEVIATION OF THE CRYSTA GALLI ARTICULATION CENTER TOWARDS THE INCLINATION OF THE OCCLUSION PLANE

M. Bier

Summary. The article considers the problem of deviation of the Crista Galli articulation center towards the inclination of the occlusal plane and its influence on the formation of dentoalveolar anomalies. Based on the analysis of studies and clinical observations, the significance of Crista Galli as a stable anatomical landmark in cephalometric analysis is shown. Particular attention is paid to the relationship between the position of Crista Galli and the inclination of the occlusal plane, which is important for diagnostics and planning orthodontic treatment. The paper presents an overview of modern diagnostic methods, including teleradiography and cone beam computed tomography, which allow for accurate determination of the spatial position of the anatomical structures under study. Methodological approaches to assessing the degree of deviation of the articulation center and its influence on the functional state of the dentoalveolar system are considered. The obtained results can be used to improve diagnostic criteria and increase the effectiveness of treatment of patients with occlusal disorders.

Keywords: Crista Galli, occlusal plane, articulation center, cephalometric analysis, dentoalveolar anomalies, temporomandibular joint.

Бир Мария Сергеевна

Врач стоматолог-ортодонт, соискатель,
Международная Медицинская Ассоциация
«Университет Здоровья БРИКС»
gurpopov@yandex.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема отклонения артикуляционного центра Crista Galli в сторону наклона окклюзионной плоскости и его влияние на формирование зубочелюстных аномалий. На основе анализа исследований и клинических наблюдений показана значимость Crista Galli как стабильного анатомического ориентира при проведении цефалометрического анализа. Особое внимание уделено взаимосвязи между положением Crista Galli и наклоном окклюзионной плоскости, что имеет важное значение для диагностики и планирования ортодонтического лечения. В работе представлен обзор современных методов диагностики, включая телерентгенографию и конусно-лучевую компьютерную томографию, позволяющих точно определять пространственное положение исследуемых анатомических структур. Рассмотрены методологические подходы к оценке степени отклонения артикуляционного центра и его влияния на функциональное состояние зубочелюстной системы. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования диагностических критериев и повышения эффективности лечения пациентов с окклюзионными нарушениями.

Ключевые слова: Crista Galli, окклюзионная плоскость, артикуляционный центр, цефалометрический анализ, зубочелюстные аномалии, височно-нижнечелюстной сустав.

Введение

В конце XIX, начале XX вв была разработана теория сферической окклюзии, согласно которой зубной ряд является частью сферы, сагиттальные и трансверзальные отделы которой были описаны Шпее и Уилсоном. В 1918 г. Монсон в своём исследовании удлинил оси зубов, проведенные через корни однокорневых зубов и небные корни многокорневых зубов, и выяснил, что они пересекаются в определённом центре, проецирующемся в область передней черепной ямки на петушином гребне. При этом режущие края резцов, края щечных бугров жевательные и суставные головки расположены от этого центра в среднем на 10,4 см. Монсон считал, что движения нижней челюсти в сагиттальных и трансверзальных направлениях аналогичны качанию вокруг оси, проходящей через центр в области петушиного гребня. Мы будем использовать базовые данные о сфере Монсона, как отправную точку в исследовании нарушения расположения Crysta Galli относительно сагиттальной

центральной линии симметрии черепа. На сегодняшний день мы имеем возможность исследовать данные о сфере Монсона используя более точные методы исследования, такие как цефалометрия и компьютерная томография. Отклонение расположения петушиного гребня всегда коррелирует с наклоном окклюзионной кривой. То есть при смещении петушиного гребня, расстояние до щечных бугров моляров и премоляров справа и слева остаётся примерно одинаковым, смещается вершина этой пирамиды и, в связи с этим, наклоняется окклюзионная плоскость относительно плоскости симметрии черепа. При этом наклоняется и нижняя челюсть, что приводит к смещению мышечек относительно ямки височно-нижнечелюстного сустава. Создаются условия для дисфункции височно-нижнечелюстного сустава, которая представляет собой комплексную медицинскую проблему, охватывающую значительную часть населения. Статистические данные свидетельствуют о широком диапазоне распространенности этого заболевания — от 5 до 56 процентов среди различных групп населения, что

делает его одним из наиболее частых источников лицевой боли неодонтогенного происхождения [5].

Клиническая картина ВНЧС характеризуется триадой основных симптомов: болевой синдром различной интенсивности, ограничение подвижности нижней челюсти и специфическая звуковая симптоматика при движениях сустава [3].

При анализе факторов, влияющих на развитие патологии ВНЧС, особое значение приобретает изучение анатомо-физиологических особенностей зубочелюстной системы. В этом контексте окклюзионная плоскость и наклон суставного бугорка являются ключевыми анатомическими структурами, определяющими функциональность и стабильность височно-нижнечелюстного сустава. Их взаимное расположение и взаимодействие формируют основу для нормального функционирования жевательного аппарата. Современная стоматология уделяет особое внимание изучению этих параметров, так как их нарушение может привести к серьезным патологиям ВНЧС и окклюзионным проблемам

При планировании ортопедического и ортодонтического лечения врачу необходимо учитывать индивидуальные особенности наклона суставного бугорка пациента, поскольку именно этот показатель во многом определяет траекторию движения нижней челюсти [1].

Понятие окклюзионной плоскости в стоматологии представляет собой комплексную анатомическую структуру, формируемую совокупностью режущих краев и окклюзионных поверхностей зубного ряда. Важно отметить, что данная плоскость не является плоской геометрической фигурой в классическом понимании, а представляет собой сложную пространственную кривую, отражающую естественную анатомию зубных рядов.

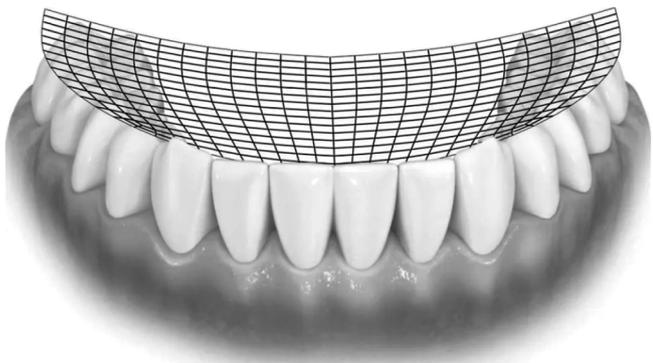


Рис. 1. Окклюзионная плоскость представляет собой среднее значение кривизны режущих и окклюзионных поверхностей зубов

Для точной диагностики и оценки пространственного положения окклюзионной плоскости и её сегментов критически важным является определение стабильных

анатомических ориентиров. В этом контексте особое значение приобретает анатомическая структура *Crista Galli*, являющаяся значимым элементом решетчатой кости (*os ethmoidale*) черепа человека [6].

Анатомическая структура *Crista Galli* является значимым элементом решетчатой кости (*os ethmoidale*) черепа человека. Данное образование представляет собой вертикально ориентированный костный гребень, расположенный по срединной линии в передней черепной ямке [2]. С точки зрения краниометрии, *Crista Galli* служит одним из ключевых референтных пунктов при проведении цефалометрического анализа, что особенно важно при исследовании отклонений артикуляционного центра относительно окклюзионной плоскости.

Значимость *Crista Galli* как анатомического ориентира обусловлена её стабильным положением в черепе и относительной устойчивостью к возрастным изменениям. Это позволяет использовать данную структуру в качестве надежного референтного пункта при оценке степени отклонения артикуляционного центра, что имеет принципиальное значение для понимания биомеханики зубочелюстной системы и характера наклона окклюзионной плоскости [7].

В современной стоматологической практике положение *Crista Galli* активно используется при проведении цефалометрического анализа с применением телерентгенографии и конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ). Эти методы диагностики позволяют не только точно определить пространственное положение данной анатомической структуры, но и оценить её взаимосвязь с наклоном окклюзионной плоскости, что критически важно для выявления патологических отклонений артикуляционного центра и планирования соответствующего лечения.

Отклонение артикуляционного центра *Crista Galli* в сторону наклона окклюзионной плоскости представляет собой важный диагностический признак в ортодонтической практике. Данное явление напрямую связано с формированием и положением окклюзионной плоскости, что существенно влияет на функциональное и эстетическое состояние зубочелюстной системы.

Окклюзионная плоскость играет ключевую роль в формировании правильных межчелюстных взаимоотношений. При отклонении *Crista Galli* происходит нарушение ориентации окклюзионной плоскости, что может привести к развитию различных зубочелюстных аномалий. Важно понимать, что положение окклюзионной плоскости тесно взаимосвязано с положением других анатомических структур черепа, включая *Crista Galli* [10].

Наклон окклюзионной плоскости в сторону отклонения *Crista Galli* может вызывать асимметрию лица, на-

рушение прикуса и функциональные расстройства височно-нижнечелюстного сустава. Это происходит из-за неравномерного распределения жевательной нагрузки и изменения положения нижней челюсти относительно верхней [9]. И смещение мышечков нижней челюсти относительно суставных ямок [11].

При диагностике особое внимание уделяется анализу телерентгенограмм головы в боковой проекции, где четко прослеживается взаимосвязь между положением *Crista Galli* и наклоном окклюзионной плоскости. Это позволяет правильно спланировать ортодонтическое лечение и прогнозировать его результаты.

Коррекция данного состояния требует комплексного подхода, направленного на нормализацию положения окклюзионной плоскости с учетом положения *Crista Galli*. В процессе лечения важно достичь оптимального баланса между функциональными и эстетическими параметрами зубочелюстной системы.

Так, исследование отклонения артикуляционного центра *Crista Galli* в сторону наклона окклюзионной плоскости существенно дополняется методологическими разработками, представленными в патенте RU2218127C1 "Способ определения положения центра ротации нижней челюсти" [4].

Crista Galli, будучи стабильным анатомическим ориентиром, приобретает ключевое значение при определении центра ротации нижней челюсти. Согласно патенту, точное определение центра ротации нижней челюсти является фундаментальным фактором для диагностики и лечения зубочелюстных аномалий. Методология, описанная в патенте, предоставляет научную основу для изучения пространственного положения точек вращения нижней челюсти и их взаимосвязи с наклоном окклюзионной плоскости.

Особую ценность представляет описанный в патенте метод построения геометрических соотношений, который может быть эффективно адаптирован для исследования корреляции между положением *Crista Galli* и наклоном окклюзионной плоскости. Данный подход позволяет проводить более точную оценку степени отклонения артикуляционного центра и его влияния на функциональное состояние зубочелюстной системы.

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на базе стоматологической клиники университета в период с 2020 по 2023 год. В исследовании приняли участие 40 пациентов в возрасте от 18 до 45 лет, из них 24 женщины и 16 мужчин с различными зубочелюстными аномалиями.

В исследование включались пациенты старше 18 лет, не проходившие ранее ортодонтическое лечение и имеющие полный комплект зубов, за исключением третьих моляров. Из исследования исключались пациенты с врожденными челюстно-лицевыми аномалиями, травмами челюстно-лицевой области в анамнезе и перенесенными ортогнатическими операциями.

В ходе исследования проводилось комплексное обследование, включающее клинический осмотр с оценкой окклюзионных взаимоотношений и функции ВНЧС. Рентгенологическое исследование состояло из телерентгенографии головы в боковой проекции, конусно-лучевой компьютерной томографии и ортопантомографии. Выполнялось антропометрическое исследование лицевых параметров и анализ диагностических моделей челюстей. Особое внимание уделялось цефалометрическому анализу с определением положения *Crista Galli* и измерением наклона окклюзионной плоскости.

Все полученные данные фиксировались в специально разработанных картах обследования. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программного обеспечения SPSS Statistics 26.0, при этом статистическая значимость различий определялась при $p < 0,05$.

Результаты исследования

В ходе проведенного исследования были получены следующие результаты. При анализе положения *Crista Galli* у обследованных пациентов было выявлено, что у 28 пациентов (70 %) наблюдалось отклонение артикуляционного центра *Crista Galli* от срединной линии, коррелирующее с наклоном окклюзионной плоскости. Из них у 17 пациентов (42,5 %) отмечалось отклонение вправо, у 11 пациентов (27,5 %) — влево. У оставшихся 12 пациентов (30 %) значимых отклонений *Crista Galli* не наблюдалось.

Цефалометрический анализ показал, что степень отклонения *Crista Galli* варьировала от $2,5^\circ$ до $8,3^\circ$ относительно срединной линии, при этом средний показатель составил $5,4^\circ \pm 1,2^\circ$. Установлена статистически значимая корреляция ($r=0,78$, $p<0,001$) между степенью отклонения *Crista Galli* и величиной наклона окклюзионной плоскости. Важно отметить, что наиболее выраженные отклонения (более 6°) наблюдались у 8 пациентов (20 %), что сопровождалось более серьезными нарушениями окклюзии.

При оценке окклюзионных взаимоотношений у пациентов с отклонением *Crista Galli* выявлены нарушения трансверсальной окклюзии в 85 % случаев (24 пациента). У 75 % пациентов с отклонением артикуляционного центра (21 человек) наблюдалось смещение средней линии

зубных рядов. Детальный анализ показал, что у 15 пациентов (53.6 % от группы с отклонениями) наблюдался перекрестный прикус, у 9 пациентов (32.1 %) — несимметричное положение моляров, а у 12 пациентов (42.8 %) отмечалась комбинация различных окклюзионных нарушений.

Анализ томографических данных позволил установить, что у пациентов с отклонением Crista Galli также отмечались асимметричные изменения в положении височно-нижнечелюстных суставов: разница в положении суставных головок составила в среднем 2.8 ± 0.6 мм. При этом у 16 пациентов (57.1 % от группы с отклонениями) наблюдалось асимметричное положение суставных дисков, а у 11 пациентов (39.3 %) выявлены признаки remodeling суставных поверхностей.

Функциональное обследование ВНЧС выявило наличие суставных шумов у 32 % пациентов (9 человек) с отклонением Crista Galli, что может свидетельствовать о влиянии данного нарушения на биомеханику височно-нижнечелюстного сустава. Дополнительно у 7 пациентов (25 %) отмечались щелчки при открывании рта, у 5 пациентов (17.9 %) — девиация нижней челюсти при открывании рта, а у 4 пациентов (14.3 %) — ограничение амплитуды открывания рта.

Особого внимания заслуживает тот факт, что степень выраженности клинических проявлений имела прямую корреляцию со степенью отклонения Crista Galli ($r=0.82$, $p<0.001$). У пациентов с более выраженным отклонением артикуляционного центра наблюдались более серьезные нарушения окклюзии и функции ВНЧС.

Обсуждение результатов

Результаты проведенного исследования демонстрируют существенную взаимосвязь между отклонением артикуляционного центра Crista Galli и формированием окклюзионных нарушений. Выявленная высокая частота отклонений Crista Galli (70 % обследованных) указывает на значимость данного анатомического ориентира в диагностике зубочелюстных аномалий.

Интерес представляет установленная статистически значимая корреляция между степенью отклонения Crista Galli и величиной наклона окклюзионной плоскости ($r=0.78$, $p<0.001$).

Высокий процент нарушений трансверсальной окклюзии (85 %) и смещения средней линии зубных рядов (75 %) у пациентов с отклонением Crista Galli свидетель-

ствует о системном характере данной патологии. Полученные данные позволяют рассматривать положение Crista Galli как один из ключевых диагностических критериев при планировании ортодонтического лечения.

Заслуживает внимания выявленная взаимосвязь между отклонением Crista Galli и асимметричными изменениями в височно-нижнечелюстных суставах. Средняя разница в положении суставных головок (2.8 ± 0.6 мм) может указывать на компенсаторные механизмы, развивающиеся в ответ на нарушение окклюзионной плоскости.

Обнаруженная прямая корреляция между степенью отклонения Crista Galli и выраженностью клинических проявлений ($r=0.82$, $p<0.001$) подчеркивает необходимость раннего выявления и коррекции данного нарушения. Это особенно важно для предотвращения развития более серьезных функциональных нарушений ВНЧС и окклюзионных взаимоотношений.

Полученные результаты расширяют существующие представления о роли положения Crista Galli в формировании зубочелюстных аномалий и могут служить основой для разработки новых диагностических подходов в ортодонтической практике. Однако необходимо отметить, что для подтверждения полученных данных требуются дальнейшие исследования на более широкой выборке пациентов.

Выводы

Проведенное исследование отклонения артикуляционного центра Crista Galli в сторону наклона окклюзионной плоскости позволило установить важную взаимосвязь между этими анатомическими структурами и их влиянием на формирование зубочелюстных аномалий. Полученные результаты демонстрируют, что положение Crista Galli служит надежным диагностическим ориентиром при оценке состояния окклюзионной плоскости и планировании ортодонтического лечения. Интеграция современных методов визуализации, включая телерентгенографию и конусно-лучевую компьютерную томографию, в сочетании с инновационными методологическими подходами, открывает новые возможности для точной диагностики и эффективного лечения патологий височно-нижнечелюстного сустава. Дальнейшее изучение этой проблематики позволит усовершенствовать существующие протоколы диагностики и лечения, что будет способствовать повышению качества стоматологической помощи пациентам с окклюзионными нарушениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсенина, О.И. Значение окклюзионных нарушений при дисфункции височно-нижнечелюстного сустава / О.И. Арсенина, А.В. Попова, Л.А. Гус // *Стоматология*. — 2014. — Т. 93, № 6. — С. 64–67.
2. Клиническая анатомия лицевого отдела головы: учебное пособие / Г.И. Сонголов, О.П. Галеева, Т.И. Шалина. — Иркутск: ИГМУ, 2019. — 64 с.
3. Латышева, Н.В. Дисфункция височно-нижнечелюстного сустава как наиболее частая причина боли в лице: современное состояние проблемы / Н.В. Латышева, Е.Г. Филатова, В.В. Осипова // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. — 2017. — Т. 117, № 10. — С. 106–113.
4. Пат. 2218127 Российская Федерация, МПК А61С 19/04. Способ диагностики трансверзальной окклюзии / Персин Л.С., Солнцев А.В., Попова И.В.; заявитель и патентообладатель Московский государственный медико-стоматологический университет. — № 2002107343/14; заявл. 22.03.2002; опубл. 10.12.2003, Бюл. № 34.
5. Camacho-Álvarez, F.E. Characteristics of the Occlusal Plane Associated with Unilateral and Bilateral Articular Eminence Inclination: A Cross-Sectional CBCT Study / F.E. Camacho-Álvarez, S.P. Martínez-Contreras, J.A. Rodríguez-Chávez [et al.] // *Dental Journal*. — 2024. — Vol. 12, № 10. — P. 316.
6. Hajjiannou, J. Evaluation of anatomical variation of the crista galli using computed tomography / J. Hajjiannou, D. Owens, H.B. Whittet // *Clinical Anatomy*. — 2010. — Vol. 23, № 4. — P. 370–373.
7. Lee, J. Endoscopic Anterior Skull Base Surgery: Intraoperative Considerations of the Crista Galli / J. Lee, E. Ransom, J. Palmer [et al.] // *Skull Base*. — 2011. — Vol. 21. — P. 83–86.
8. Occlusal plane // *Pocket Dentistry* [Электронный ресурс]. — URL: <https://pocketdentistry.com/occlusal-plane/> (дата обращения: 16.12.2024).
9. Padala, S. Comparative evaluation of condylar position in symptomatic (TMJ dysfunction) and asymptomatic individuals / S. Padala, S. Padmanabhan, A.B. Chithranjan // *Indian Journal of Dental Research*. — 2012. — Vol. 23, № 1. — P. 122.
10. Shioyasono, A. A Case of Facial Asymmetry with Discomfort around the Temporomandibular Joint Treated by Orthognathic Surgery in a 53-year-old Female Patient / A. Shioyasono, C. Tateishi, T. Hasegawa [et al.] // *The Japanese Journal of Jaw Deformities*. — 2016. — Vol. 26. — P. 243–254.
11. Маллаева А.Б. Кандидатская диссертация «Орфометрические особенности строения челюстно-лицевой области у пациентов с гнатической формой мезиальной окклюзии», ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

© Бир Мария Сергеевна (gurorov@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА МОДЕЛИРОВАНИЯ МИННО-ВЗРЫВНОЙ ТРАВМЫ МЯГКИХ ТКАНЕЙ И ОРГАНОВ МАЛОГО ТАЗА У САМОК-КРЫС

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF MODELING OF MINE BLAST TRAUMA OF SOFT TISSUES AND PELVIC ORGANS IN FEMALE RATS

S. Kapralov
M. Polidanov
A. Yuanov
R. Petrunkin
A. Kashikhin
V. Maslyakov

Summary. The aim of the study is to develop a method of modeling the mine blast injury of soft tissues and pelvic organs in female rats. *Materials and Methods.* In connection with the purpose of the study a series of experiments were carried out on 24 laboratory female rats of the breed «standard» weighing 200 ± 50 g. *Results of the study.* The obtained experimental data confirm that the claimed method provides obtaining a reproducible model of mine-explosive trauma, will allow to use it for modeling the lesions corresponding to mine-explosive trauma (shock wave, thermal damage and damage by defeat elements) of soft tissues and pelvic organs in rats. *Conclusions:* The proposed method is simple enough to carry out, provides for the use of a starting device and threaded cartridges for the organization of the explosion instead of complex and expensive devices and devices, having a cartridge case with a primer-igniter, powder charge consisting of powder magnesium and potassium perchlorate and a signal star, the handling of which does not require special knowledge and skills, which are produced by domestic manufacturers and available for sale, does not require carrying out in the conditions of specially equipped premises or.

Keywords: mine blast trauma, soft tissues and pelvic organs, experimental modeling, female rats.

Капралов Сергей Владимирович

д.м.н., доцент, Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского
Минздрава России
sergejkapralov@yandex.ru

Полиданов Максим Андреевич

специалист научно-исследовательского отдела,
ассистент, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Юанов Аслан Аскербиевич

д.м.н., ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского»
Минздрава России
maksim.polidanoff@yandex.ru

Петрунькин Родион Павлович

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Кашихин Андрей Андреевич

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Масляков Владимир Владимирович

д.м.н., Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского;
д.м.н., профессор,
Медицинский университет «Реавиз», г.Саратов,
maslyakov@inbox.ru

Аннотация. Целью исследования является разработка способа моделирования минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза у самок-крыс. *Материалы и методы.* В связи с целью исследования были проведены серии экспериментов на 24 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200 ± 50 г. *Результаты исследования.* полученные экспериментальные данные подтверждают, что заявляемый способ обеспечивает получение воспроизводимой модели минно-взрывной травмы, позволит использовать ее для моделирования поражений, соответствующих минно-взрывной травме (ударной волной, термического повреждения и повреждения поражающими элементами) мягких тканей и органов малого таза у крыс. *Выводы:* Предлагаемый способ достаточно прост в проведении, предусматривает использование для организации взрыва вместо сложных и дорогостоящих устройств и приспособлений пускового устройства и резьбовых патронов, имеющих гильзу с капсулем-воспламенителем, пороховым зарядом, состоящим из порошкового магния и перхлората калия и сигнальной звездкой, обращение с которыми не требует специальных знаний и навыков, которые выпускаются отечественными производителями и доступны в продаже, не требует проведения в условиях специально оборудованных помещений или оснащенных площадок полигонов, практичен, в связи с чем доступен исследовательским группам при соблюдении техники безопасности.

Ключевые слова: минно-взрывная травма, мягкие ткани и органы малого таза, экспериментальное моделирование, самки-крыс.

Введение

Моделирование минно-взрывных травм (МВТ) в эксперименте на лабораторных животных, является необходимым условием для разработки новых, а также усовершенствования уже существующих способов лечения МВТ. Однако наиболее существенным недостатком имеющихся моделей МВТ является их труднодоступность, что обусловлено тем, что для их воспроизведения необходимы использование специальных средств в условиях военного полигона [1], электродетонаторов [2], гранат или самодельных взрывных устройств на основе пластида [3] и специальные разрешения. Кроме того, существующие способы, как правило, предполагают использование крупных экспериментальных животных (свиньи, собаки). Все указанное значительно суживает область их применения в экспериментальной медицине.

Известен способ моделирования минно-взрывного ранения [2], согласно которому ранение наносят с помощью электродетонатора ЭДП-р, предназначенного для инициирования взрыва в зарядах бризантных взрывчатых веществ, приводимых в действие электрическим импульсом (источник газопламенного компонента минно-взрывной травмы). В результате воздействия получают воспроизводимые местные повреждения кожи и скелетных мышц задней поверхности бедра подопытных животных, в качестве которых могут использоваться крысы. Для установки электродетонатора используют жесткий полиуретановый блок из газонаполненной пластмассы, имеющий прорезь в центре и обеспечивающий направленное воздействие газоплазменного компонента взрывной травмы. Детонатор располагают на расстоянии 11 см от места повреждения. Размеры входного повреждения составляют в среднем 10 ± 2 мм, раневого канала — 18 ± 3 мм. После приведения в действие электродетонатора возникает направленная взрывная газовая струя, которая приводит к образованию обширных разрушений мягких тканей с наружным кровотечением и развитием общего коммоционно-контузионного синдрома. В случае воздействия газовой струи на достаточном расстоянии от места расположения костей удается избежать их переломов.

К недостаткам указанного способа моделирования, предусматривающего проведение взрывных работ, относятся не только необходимость его реализации в условиях специального полигона, получение особого разрешения, но и высокая трудоемкость подготовительных работ.

Из уровня техники известен способ моделирования [4], согласно которому минно-взрывную травму наносят с помощью строительного монтажного пистолета (СМП) «СМП-3М» калибром 12 мм и «ПЦ-84» калибром 6,8 мм

без поршня с различной массой порохового заряда (0,38 г, 0,43 г, 0,55 г) (ОАО «Тульский оружейный завод», Россия) и поражающими элементами, для чего в стволе СМП на расстоянии 10 см от дульного среза размещают пыж в виде бумажной салфетки с завернутыми в нее стальными осколками размером $3 \times 5 \times 1,5$ мм, общей массой 0,2 г. Использование СМП без поршня с размещенным в его стволе бумажным пыжом со стальными осколками, а также специально изготовленной стойки для прикрепления к столешнице позволяет обеспечить воздействие направленной ударной волны с вторичными ранящими агентами, то есть обеспечить имитацию взрыва и нанесение минно-взрывной травмы. Однако данный способ требует нескольких вмешательств, что увеличивает срок моделирования. К тому же для реализации способа требуется применение специально-разработанной стойки, состоящей из металлической пластины и закрепленного на ней диска с углублением под прижимную часть.

Наиболее близким к заявляемому является способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости [5], включающий нанесение травмы на предварительно выстриженную поверхность бедра находящегося под наркозом мелкого лабораторного животного — крысы. Травму наносят за счет организации взрыва путем подрыва взрывного заряда, в качестве которого используют пиротехническое изделие бытового назначения — обыкновенную терочную петарду Корсар-2, которую устанавливают в бедре крысы в непосредственной близости от кости — на расстоянии 0,5–0,8 см от нее, в канале длиной 2,0–2,5 см, сформированном в области расположения полусухожильной, полуперепончатой и двуглавой мышц бедра, через линейный разрез кожи длиной 0,8–1,0 см, выполненный в средней трети латеральной поверхности бедра крысы параллельно длиннику бедренной кости, для чего тупым способом, с помощью зажима, минимально травмируя ткани, раздвигают кожу и расслаивают мышцы бедра. Петарду Корсар-2 устанавливают таким образом, чтобы ее часть от места запала выступала на 2 см над поверхностью кожи, а оставшаяся часть располагалась в сформированном канале и частично, а именно на 0,3–1,0 см, выступала из контрапертуры на противоположной поверхности бедра. Для моделирования изолированной взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости используют крыс с массой тела 320 ± 30 г. Однако данный способ требует проведения нескольких оперативных вмешательств, подбора взрывчатых элементов, что увеличивает срок моделирования.

В связи с вышесказанным, целью исследования является разработка способа моделирования минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза у самок-крыс.

Материалы и методы исследования

В связи с целью исследования были проведены серии экспериментов на 24 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200 ± 50 г. Все манипуляции и условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (актуализированным от 01.01.2021).

Результаты и их обсуждение

Способ осуществляется следующим образом [6]. По стандартной методике проводили общую анестезию лабораторных животных за 30 минут до начала реализации заявляемого способа. Затем на области промежности лабораторного животного выстригали шерсть, оставляя шерстяной покров высотой не более 1–2 мм. МВТ моделировали с помощью однозарядного пускового устройства (ПУ) (рис. 1) пружинного типа, массой 56 г, габаритными размерами 120x14x14 мм (Россия, ООО «А+А»), с резьбовыми патронами (рис. 2), имеющими гильзу с капсюлем-воспламенителем, пороховым зарядом, состоящим из порошкового магния и перхлората

калия и сигнальной звездкой, высотой 32 мм, диаметром 17 мм, толщиной корпуса 1 мм, массой 0,009 г, временем горения заряда 3-5 сек (Россия, ООО «А+А»).

Однозарядное пусковое устройство пружинного типа содержит корпус, в верхней части которого выполнена резьба для установки резьбовых патронов. Внутри корпуса, в средней части, размещен ударник с пружиной для инициирования резьбовых патронов. В нижней части корпуса расположена ручка взвода (рис. 1).

Для моделирования МВТ, лабораторное животное размещали в горизонтальном положении лежа на спине с разведенными и фиксированными задними лапами. Лапы фиксировали таким образом, чтобы участок промежности, подлежащий травматизации, находился под дульным срезом ПУ на расстоянии ± 5 см. Пусковое устройство ориентировали по вектору взрыва на промежность. Для приведения устройства в рабочее положение устанавливали штифт ударного механизма в первый от дульного среза вырез на корпусе устройства. Отвернув устройство от себя, ввинчивали резьбовой патрон в отверстие корпуса до упора и фиксировали устройство рукой. Затем, удерживая прочно устройство с резьбовым патроном в вытянутой вверх руке (под углом 90°), производили выстрел, для чего штифт был сдвинут в продольный паз. Выстрел производился в помещении с отсутствием ветра и внешних воздействий.

После выстрела проводили макроскопическую оценку поражения путем осмотра наружной поверхности об-

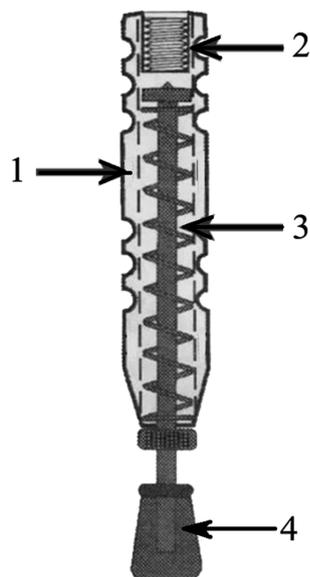


Рис. 1. На рисунке представлено однозарядное пусковое устройство.

Примечание: Позициями на чертеже обозначено: 1. — корпус пускового устройства; 2. — резьба для установки резьбовых патронов; 3. — ударник с пружиной для инициирования резьбовых патронов; 4. — ручка взвода

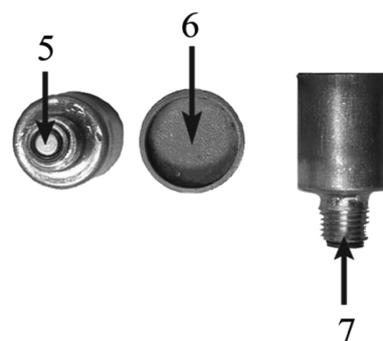


Рис. 2. На рисунке представлено устройство резьбового патрона.

Примечание: Позициями на чертеже обозначено: 5. — гильза с капсюлем-воспламенителем; 6. — пороховой заряд; 7. — резьбовой патрон

ласти промежности: края ран были неровными, с мелкими надрывами, обожженными, в связи с чем сопоставить края ран не представлялось возможным (дефект «минус-ткань» по М.И. Райскому). После проведения наружного осмотра места поражения проводили рассечение мягких тканей таким образом, чтобы плоскость сечения была перпендикулярна поверхности кожи и проходила через центр области травмы. В ходе препарирования тканей, было уставлено, что входное отверстие продолжалось слепым раневым каналом глубиной около 3/4 толщи мышечно-фасциального слоя. Дефект мышечно-фасциального слоя отличался звездчатой формой и соответствовал размеру кожного дефекта. В раневом канале были обнаружены поражающие элементы, образовавшиеся при взрыве резьбового патрона и участок миометрия с полным разрывом стенки матки и отделением её от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки.

Таким образом, использование ПУ пружинного типа и резьбовых патронов, имеющих гильзу с капсюлем-воспламенителем, пороховым зарядом, состоящим из порошкового магния и перхлората калия и сигнальной звездкой, позволяет получить ударную волну, формирующуюся от избыточного давления, возникающего в результате горения порохового заряда, состоящего из порошкового магния и перхлората калия, термическое повреждение области промежности вследствие горения порохового заряда, состоящего из порошкового магния и перхлората калия, повреждение вторичными ранящими элементами, образующимися при взрыве резьбового патрона, которые являются в данном случае травмирующими агентами.

Проведенная в дальнейшем морфологическая оценка позволила установить, что края разрыва неровные, с признаками размозженности и кровоизлияния. В окружающей ткани выраженное острое воспаление с большим количеством палочкоядерных лейкоцитов. Наблюдаются очаги коагуляционного некроза (рис. 3).

Кроме того, было установлено, что МВТ, полученные с использованием заявляемого способа, у всех подопытных животных были идентичны по характеру и степени тяжести повреждений мягких тканей, их локализации, форме, площади и глубине. У каждого лабораторного животного произошел полный разрыв стенок матки с отделением ее от связок и от апоневроза Денон-Виллье, ограничивающего влагалище от прямой кишки.

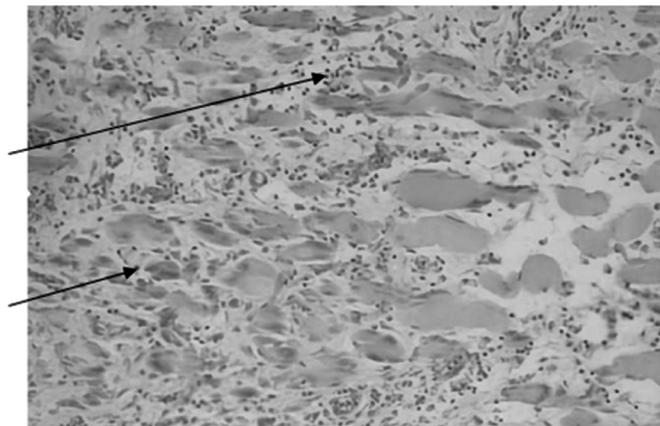


Рис. 3. Приведены результаты микроскопического исследования области таза лабораторных животных. *Примечание:* Позициями на рисунке обозначены: 8. очаги коагуляционного некроза; 9. палочкоядерные лейкоциты.

Характеристики, полученной МВТ у каждого лабораторного животного, в том числе размеры раны кожи и подкожно-жировой клетчатки (ПЖК), размеры мышечных ран и фасций, глубина ран, были фиксированы, а их средние значения в группе (M) и стандартные отклонения (m) представлены в таблице.

Таким образом, полученные экспериментальные данные подтверждают, что заявляемый способ обеспечивает получение воспроизводимой модели МВТ, позволит использовать ее для моделирования поражений, соответствующих МВТ (ударной волной, термического повреждения и повреждения поражающими элементами) мягких тканей и органов малого таза у крыс.

Заключение

Предлагаемый способ [6] достаточно прост в проведении, предусматривает использование для организации взрыва вместо сложных и дорогостоящих устройств и приспособлений ПУ и резьбовых патронов, имеющих гильзу с капсюлем-воспламенителем, пороховым зарядом, состоящим из порошкового магния и перхлората калия и сигнальной звездкой, обращение с которыми не требует специальных знаний и навыков, которые выпускаются отечественными производителями и доступны в продаже, не требует проведения в условиях специально оборудованных помещений или оснащенных площадок полигонов, практичен, в связи с чем доступен исследовательским группам при соблюдении техники безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев И.А., Титов Р.В., Шперлинг И.А. и др. Особенности взрывной травмы при использовании отдельных видов средств индивидуальной бронезащиты. Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2015; 3 (51): 128–132.
2. Венгерович Н.Г., Шперлинг И.А., Юркевич Ю.В. и др. Морфологическая характеристика посттравматической регенерации скелетных мышц при экспериментальной взрывной травме. Бюллетень сибирской медицины. 2015; 14 (4): 17–24
3. Mikhailusov R.N., Negoduiko V.V., Prikhodko Yu.V. Biological layer design of fire wounds of soft tissues. Eksperimentalna i klinichna meditsyna. 2016; 4: 144–147.
4. Чиж Н.А., Ковалев Г.А., Белочкина И.В. и др. Модель минно-взрывной травмы. Клиническая хирургия. 2019; 86 (1): 61–64.
5. Патент РФ на изобретение № 2748384, МПК А61В5/00, опубл. 25.05.2021. Шперлинг И.А., Шперлинг Н.В., Шулепов А.В., Романов П.А., Крупин А.В., Заргарова Н.И., Шперлинг М.И., Юркевич Ю.В., Серебряков В.А., Арутюнян А.А. Способ моделирования взрывной травмы мягких тканей конечности с переломом бедренной кости.
6. Заявка на патент РФ на изобретение № 2024136032 от 02.12.2024. Полиданов М.А., Капралов С.В., Волков К.А., Петрунькин Р.П., Сулаев Е.В., Кашихин А.А., Масляков В.В., Аблаев Э.Э., Евсеев М.А. Способ моделирования минно-взрывной травмы мягких тканей и органов малого таза у лабораторных животных.

© Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru); Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru);

Юанов Аслан Аскербиевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Петрунькин Родион Павлович (maksim.polidanoff@yandex.ru);

Кашихин Андрей Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Масляков Владимир Владимирович (maslyakov@inbox.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТАЗОВОГО АБСЦЕССА НА САМКАХ-КРЫС

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF MODELING PELVIC ABSCESS ON FEMALE RATS

M. Polidanov
S. Kapralov
K. Volkov
R. Petrunkin
A. Danilov
A. Yuanov

Summary. The aim of the study is to develop a method that is closest to the clinical course of pelvic abscess, which is a delimited accumulation of pus in the rectovaginal cavity. Materials and Methods. A series of experiments on 20 female laboratory rats of «standard» breed weighing 200 ± 50 g were carried out in the operative unit of the Department of Faculty Surgery and Oncology of V.I. Razumovsky Saratov State Medical University. Results of the study. It was proved that pelvic abscess is modeled within 5 days from the experiment in 100 % of animals and has expressed morphological (macro- and microscopic) signs confirmed by microbiological data. Conclusions. The developed method is low-traumatic, provides guaranteed formation of pelvic abscess and does not require any complex manipulations and high technical equipment, provides the term of abscess formation up to 5 days.

Keywords: Pelvic abscess, Douglas abscess, experimental modeling, female rats.

Полиданов Максим Андреевич

специалист научно-исследовательского отдела,
ассистент, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Капралов Сергей Владимирович

д.м.н., доцент, «Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского»
Минздрава России
sergejkapralov@yandex.ru

Волков Кирилл Андреевич

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России

Петрунькин Родион Павлович

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург

Данилов Андрей Дмитриевич

Ассистент, «Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского»
Минздрава России
surgery1994@mail.ru

Юанов Аслан Аскербиевич

д.м.н., ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского»
Минздрава России

Аннотация. Целью исследования является разработка способа, наиболее приближенного к клиническому течению тазового абсцесса, представляющего собой ограниченное скопление гноя в прямокишечно-маточном углублении. Материалы и методы. В оперативном блоке кафедры факультетской хирургии и онкологии Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского были проведены серии экспериментов на 20 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200 ± 50 г. Результаты исследования. Было доказано, что тазовый абсцесс моделируется в срок 5 суток от проведения эксперимента у 100 % животных и имеет выраженные морфологические (макро- и микроскопические) признаки, подтверждаемые микробиологическими данными. Выводы. Разработанный способ является малотравматичным, обеспечивает гарантированное формирование тазового абсцесса и не требует каких-либо сложных манипуляций и высокого технического оснащения, обеспечивает срок формирования абсцесса до 5 дней.

Ключевые слова: тазовый абсцесс, абсцесс Дугласового пространства, экспериментальное моделирование, самки-крысы.

Введение

Тазовый абсцесс (абсцесс Дугласового пространства) представляет собой ограниченное скопление гноя в самом нижнем отделе брюшной полости — прямокишечно-пузырном углублении (excavatio rectovesicalis) у мужчин и прямокишечно-маточном углублении (excavatio rectouterina) у женщин.

Известен способ моделирования абсцессов мягких тканей [1], в котором после обработки у самок-крыс кожи в подкожную клетчатку вводили 1–1,5 мл скипидара. Через несколько часов происходило формирование абсцесса, затем в полученную полость вводили $2-4 \times 10^5$ КОЕ *Staphylococcus aureus*. Недостатком этого способа является то, что введенный в подкожную клетчатку скипидар не создает ограниченную полость,

а распространяется по подкожному пространству, и введение возбудителя моделирует гнойную распространенную рану, а не абсцесс.

Известен способ с использованием катетера с раздувным баллоном (катетер Фогерти) [2]. В данном способе определяют участок кожи в безопасной зоне моделируемого абсцесса, затем проводят депиляцию и обработку антисептиком, анестезируют лабораторное животное. Производят пункцию подкожного пространства иглой Дюфо, через которую вводят модифицированный катетер Фогерти и раздувают баллон в объеме 2 мл раствором 0,9 % NaCl. Через 3 суток после установления катетера баллон опорожняют и удаляют катетер, а в полученную полость вводят суспензию инфекционного агента. Недостаток данного способа заключается в технических сложностях при моделировании абсцесса под местной анестезией: трудно добиться фиксации животного, возможны ошибки при введении патогена. Также сложно соблюдать симметричность введения патогена — инфильтрат оказывается смещен по одну сторону от оси средней линии тела.

Известен способ моделирования отграниченного перитонита у нелинейных лабораторных мышей [3], включающий однократное внутривентральное введение каловой взвеси. Мышей массой 20–22 г инфицируют 10 % каловой взвесью из свежих крысиных фекалий, приготовленной на изотоническом растворе хлорида натрия и однократно профильтрованной через двойной слой марли, через одну точку вкола по средней линии в пупочной области живота на глубину 2 мм, в дозах 0,3–0,4 мл — для использования модели более 13 дней и 0,5 мл — для использования модели не более 13 дней. Способ позволяет получать образование отграниченных абсцессов в нескольких анатомических областях брюшной полости. Однако, представленный способ сложен в воспроизведении в виду большого временного промежутка реализации и техники исполнения.

Известен способ моделирования местного отграниченного перитонита у крыс [4], который включает введение в брюшную полость животного 15 %-ной взвеси фекалий в изотоническом растворе хлорида натрия из расчета 1 миллилитр на 100 граммов массы животного. Предварительно под контролем УЗИ в правую подвздошную область живота крысы через троакар проводят модифицированный катетер Фолея. После заполнения его баллона производят перевязку и фиксацию дистальной части катетера при помощи кожной дубликатуры. В образовавшуюся полость вводят возбудитель инфекционного процесса. Недостатком данного способа является формирование сначала асептической, а затем уже гнойной полости, что представляет собой наличие дополнительных манипуляций для формирования гнойной полости (введение возбудителя после фор-

мирования полости) и не позволяет гнойному процессу образовываться постепенно в течение времени, что сказывается негативно на общем состоянии животного.

Известен способ моделирования острого перитонита [5], заключающийся в пункционном введении в брюшную полость патогенной микрофлоры. Бактериальное загрязнение брюшной полости осуществляется комбинированной взвесью микробных тел, представленной стафилококками, кишечной палочкой, палочкой синезеленого гноя и пептококками в равных соотношениях, которая распределяется по всем отделам брюшной полости с помощью предварительно проведенных через пункционные отверстия в передней брюшной стенке катетеров, установленных в правом и левом поддиафрагмальных пространствах, правом и левом боковых каналах — живота, малом тазу, и центральной части брюшной полости. При этом указанная взвесь микробных тел вводится через 24 ч после предварительного введения в брюшную полость через указанные катетеры аутокрови в суммарном объеме 7–10 мл/кг массы тела экспериментального животного в три этапа, при этом на первом этапе взвесь микробных тел вводится в объеме 50–55 млрд микробных тел/кг массы тела животного, на втором и третьем — по 20–25 млрд микробных тел/кг через 6-часовые промежутки. Однако, представленный способ сложен в воспроизведении в виду большого временного промежутка реализации и техники исполнения.

Наиболее близким к заявляемому является способ моделирования хронического воспаления эндометрия [6]. Согласно способу крысе в маточный рог вводят 0,1 мл взвеси аутокала. Взвесь получают смешиванием аутокала с физиологическим раствором в пропорции 1:10 и двойным фильтрованием смеси сквозь марлевый стерильный материал. Начиная с третьих суток после вмешательства, проводят в течение 7 суток антибактериальную терапию препаратом широкого спектра действия. Устанавливают формирование хронического воспаления эндометрия с 41 суток эксперимента. Недостатком способа является то, что приведенные методы моделирования подразумевают работу с изолированной бактериальной культурой, что технологически сложно и требует специального оснащения для отбора.

В связи с вышесказанным, целью исследования является разработка способа, наиболее приближенного к клиническому течению тазового абсцесса, представляющего собой отграниченное скопление гноя в прямокишечно-маточном углублении.

Материалы и методы исследования

В оперативном блоке кафедры факультетской хирургии и онкологии Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского были

проведены серии экспериментов на 20 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200 ± 50 г. Все манипуляции и содержание животных было регламентировано этической комиссией ФГБОУ ВО «Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского» Министерства Здравоохранения Российской Федерации (протокол № 2, 15.09.2023). Условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (актуализированным от 01.01.2021).

Результаты и их обсуждение

Способ осуществляется следующим образом. По стандартной методике проводят общую анестезию лабораторных животных — самок крыс. Затем осуществляют депиляцию и антисептическую обработку промежности. После чего инсулиновым шприцом 1 мл (до 100 единиц) путем прокола производят введение инфицированной суспензии стафилококка и кишечной палочки с микробной нагрузкой 5×10^5 КОЕ/мл в 1 мл в нижний этаж полости брюшины крысы, в прямокишечно-маточное углубление. Выдерживают 5 дней и проводят лапаротомию, осуществляют забор материала для бактериологического исследования, а также берут фрагмент абсцедирующей ткани для морфологического исследования.

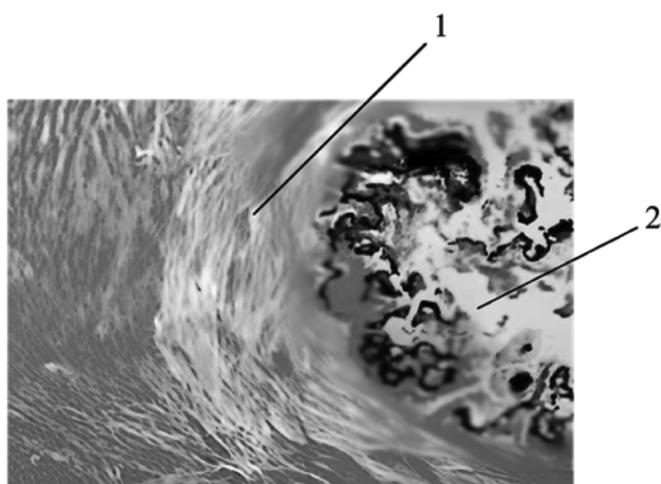


Рис. 1. Результаты морфологического исследования места абсцесса животных на 5-е сутки, окраска: гематоксилин-эозин

Примечание: Позициями на чертежах обозначено: 1. — стенка тазового абсцесса; 2. — полость тазового абсцесса.

Таблица 1.

Результаты анализов микробиологических данных и изменение объема полости сформированного тазового абсцесса на всех 20 крысах

№ лабораторного животного	Анализ микробиологических данных	Изменение объема полости сформированного тазового абсцесса (объем полости, см ³)
1	$5,0 \pm 0,2 * 10^9$ КОЕ/мл	$3 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
2	$5,0 \pm 0,3 * 10^9$ КОЕ/мл	$2,5 \pm 0,5 \times 1,5 \pm 0,5$
3	$5,0 \pm 0,2 * 10^9$ КОЕ/мл	$2 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
4	$5,0 \pm 0,1 * 10^9$ КОЕ/мл	$3 \pm 0,5 \times 2,5 \pm 0,5$
5	$5,0 \pm 0,1 * 10^9$ КОЕ/мл	$2,5 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
6	$5,0 \pm 0,2 * 10^9$ КОЕ/мл	$3 \pm 0,5 \times 2,5 \pm 0,5$
7	$5,0 \pm 0,1 * 10^9$ КОЕ/мл	$3,5 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
8	$5,0 \pm 0,1 * 10^9$ КОЕ/мл	$3 \pm 0,5 \times 2,5 \pm 0,5$
9	$5,0 \pm 0,3 * 10^9$ КОЕ/мл	$2 \pm 0,5 \times 1,5 \pm 0,5$
10	$5,0 \pm 0,5 * 10^9$ КОЕ/мл	$2,5 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
11	$5,0 \pm 0,4 * 10^9$ КОЕ/мл	$3,5 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
12	$5,0 \pm 0,2 * 10^9$ КОЕ/мл	$3 \pm 0,5 \times 2,5 \pm 0,5$
13	$5,0 \pm 0,1 * 10^9$ КОЕ/мл	$3,5 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
14	$5,0 \pm 0,3 * 10^9$ КОЕ/мл	$2,5 \pm 0,5 \times 1,5 \pm 0,5$
15	$5,0 \pm 0,5 * 10^9$ КОЕ/мл	$2,5 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
16	$5,0 \pm 0,3 * 10^9$ КОЕ/мл	$3,5 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$
17	$5,0 \pm 0,2 * 10^9$ КОЕ/мл	$3 \pm 0,5 \times 2,5 \pm 0,5$
18	$5,0 \pm 0,1 * 10^9$ КОЕ/мл	$3,5 \pm 0,5 \times 2,5 \pm 0,5$
19	$5,0 \pm 0,2 * 10^9$ КОЕ/мл	$3 \pm 0,5 \times 2,5 \pm 0,5$
20	$5,0 \pm 0,1 * 10^9$ КОЕ/мл	$2 \pm 0,5 \times 1,5 \pm 0,5$

Исследования показали, что через 3-е суток после введения инфицированной суспензии стафилококка и кишечной палочки с микробной нагрузкой 5×10^5 КОЕ/мл в 1 мл в прямокишечно-маточное углубление стенки полости недостаточно образованы и абсцесс не был сформирован. На 5-е сутки был сформирован тазовый абсцесс, который отвечал всем требованиям отграниченного абсцесса.

Макроскопическое описание: фрагмент стенки матки размером $3 \pm 0,5 \times 2 \pm 0,5$ см³, серо-желтого цвета, мягкой консистенции, с наличием желтоватого содержимого, анализ микробиологических данных которого показал, что у всех 20 лабораторных животных из сформированной полости тазового абсцесса 2 на 5 сутки высевается полиштамм *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*

$5,0 \pm 0,1 \cdot 10^9$ КОЕ/мл, а при морфологическом исследовании была выявлена диффузная смешанно клеточная инфильтрация: воспалительный инфильтрат содержит лимфоциты, плазматические клетки и гистиоциты с преобладанием нейтрофилов. Мышечный слой матки отечный и содержит рассеянные нейтрофилы, стенки абсцесса хорошо выражены. Были обнаружены участки гнойного расплавления ткани. Стенки сосудов расширены, с признаками тромбоза. В некоторых участках наблюдаются скопления грамположительных кокков, а также грамотрицательных палочковидных микроорганизмов (рисунок 1).

Таким образом, было доказано, что тазовый абсцесс моделируется в срок 5 суток от проведения эксперимента у 100 % животных и имеет выраженные морфологические (макро- и микроскопические) признаки, подтверждаемые микробиологическими данными (таблица 1).

Заключение

Разработанный способ является малотравматичным, обеспечивает гарантированное формирование тазового абсцесса и не требует каких-либо сложных манипуляций и высокого технического оснащения, обеспечивает срок формирования абсцесса до 5 дней [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалимов С.А., Радзинский А.П., Кейсевич А.В. Руководство по экспериментальной хирургии. М.: Медицина. 1989; 272 с.
2. Урусова А.И., Андреев Д.А., Кадышев А.В. Моделирование абсцесса мягких тканей. Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2016; 6 (5): 1045 с.
3. Патент РФ на изобретение № 2567602, МПК G09B23/28, опубл. 10.11.2015. Акулова А.П., Казаринов Н.П., Донченко Н.А. Способ моделирования ограниченного перитонита у лабораторных нелинейных мышей.
4. Патент РФ на изобретение № 2714949, МПК G09B23/28, опубл. 21.02.2020. Алипов В.В., Лойко В.С., Аванесян Г.А., Мусаелян А.Г., Бахметьев А.С., Алипов А.И. Способ моделирования местного ограниченного перитонита у крыс.
5. Патент РФ на изобретение № 2151427, МПК G09B23/28, A61M25/01, опубл. 20.06.2000. Глухов А.А., Банин И.Н. Способ моделирования острого перитонита.
6. Патент РФ на изобретение № 2580986, МПК G09B 23/28, C1, опубл. 10.04.2016. Тихаева К.Ю., Рогова Л.Н., Ткаченко Л.В. Способ моделирования экспериментального хронического воспаления эндометрия у крыс.
7. Заявка на патент РФ на изобретение № 2024137055 от 10.12.2024. Полиданов М.А., Капралов С.В., Петрунькин Р.П., Кашихин А.А., Волков К.А., Масляков В.В., Марченко В.С., Дубровская М.А., Дягель А.П., Амиров Э.В., Бугаенко М.А., Якубенко В.В. Способ моделирования тазового абсцесса на самках крыс.

© Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru); Волков Кирилл Андреевич; Петрунькин Родион Павлович; Данилов Андрей Дмитриевич (surgery1994@mail.ru); Юанов Аслан Аскербиевич
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ РЕПРОДУКТИВНОГО ЗДОРОВЬЯ ЖЕНЩИН-ВОДИТЕЛЕЙ СОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТРАНСПОРТА

FEATURES OF REPRODUCTIVE HEALTH OF WOMEN-DRIVERS OF MODERN ELECTROMAGNETIC TRANSPORT

D. Rossolko
D. Kulagina
R. Tukhova

Summary. Female electromagnetic transport workers are under the constant influence of a whole range of unfavorable factors of various chemical and physical nature, as well as factors caused by the peculiarities of the work process. The aim of the study is to identify the most significant risk factors of professional activity from a gynecological point of view, which have a harmful effect on female drivers of electromagnetic transport. A survey of female electromagnetic transport workers was conducted. An increase in the frequency of gynecological pathologies was revealed. These include menstrual irregularities, prolapse of the pelvic organs, tumor diseases of the female genital organs, hyperplastic processes in the endometrium, and diseases of the mammary glands. It is concluded that professional hazards significantly have a negative impact on the gynecological status and reproductive function of female electromagnetic transport drivers.

Keywords: female driver, professional factors, gynecological status, reproductive function.

Россолько Дмитрий Сергеевич

кандидат медицинских наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
drossolko@mail.ru

Кулагина Дарья Вячеславовна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
darya.kulagina@list.ru

Тухова Рената Андреевна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации
renata434420@mail.ru

Аннотация. Работницы электромагнитного транспорта находятся под постоянным влиянием целого комплекса неблагоприятных факторов различной химической и физической природы, а также факторов, обусловленных особенностями рабочего процесса. Целью исследования является выявить наиболее значимые с гинекологической точки зрения факторы риска профессиональной деятельности, которые несут в себе вредное воздействие на женщин-водителей электромагнитного транспорта. Проведено анкетирование работниц электромагнитного транспорта. Выявлено увеличение частоты гинекологических патологий. К ним отнесены нарушения менструального цикла, опущения органов малого таза, опухолевые заболевания женских половых органов, гиперпластические процессы в эндометрии, заболевания молочных желез. Сделан вывод о том, что профессиональные вредности в значительной степени оказывают негативное влияние на гинекологический статус и репродуктивную функцию женщин-водителей электромагнитного транспорта.

Ключевые слова: женщина-водитель, профессиональные факторы, гинекологический статус, репродуктивная функция.

Работницы электромагнитного транспорта находятся под постоянным влиянием целого комплекса неблагоприятных факторов различной химической и физической природы, а также факторов, обусловленных особенностями рабочего процесса, к которым следует отнести сидячее положение в течение смены, физические нагрузки, психологический стресс, напряженный

рабочий график. Данные факторы в совокупности могут оказывать отрицательное влияние как на состояние здоровья женщины в целом, так и на гинекологический статус, и на репродуктивную функцию.

В рамках постановления Правительства РФ от 08 марта 2017 года утверждена Национальная стратегия, на-

правленная на поддержку и развитие женского здоровья в период с 2017 по 2022 год. Особое внимание уделяется охране репродуктивного благополучия женщин, включая тех, кто занят в условиях труда повышенной опасности или вредности. По состоянию на 2024 годы подвержены таким рискам более миллиона российских женщин.

В связи с динамичными социально-экономическими изменениями в стране наблюдается ухудшение трудовых условий. Для адекватной оценки влияния этих факторов на репродуктивную систему женщин, занятых в электромагнитном транспорте (в частности, среди водителей), необходимо осуществление глубоких комплексных исследований и анализа состояния их здоровья.

Цель

Исходя из статистических данных выявить наиболее значимые с гинекологической точки зрения факторы риска профессиональной деятельности, которые несут в себе вредное воздействие на женщин-водителей электромагнитного транспорта.

Исследование гинекологических заболеваний среди женщин, управляющих электромагнитным транспортом, проводилось на основе данных профилактических осмотров и больничных листов (2022–2024 гг.) медицинских учреждений, включая поликлинику №107

и здравпункты. Анкетирование работниц в рамках этих исследований охватывало период с 2022 года по 2024 год. Для сравнительного анализа были сформированы две группы: основная, состоящая из 110 женщин-водителей электромагнитного транспорта, и контрольная группа — 100 женщин, имеющих схожую гинекологическую патологию, но не занятых в транспортной отрасли и не подвергающихся воздействию вредных факторов. Сопоставление проводилось по возрастным категориям (20–30, 31–40, 41–50 лет) и стажу работы на транспорте (менее 5, 5–10, 10–20, более 20 лет).

Исследование установило растущую динамику гинекологических проблем за последний двухлетний период: наблюдается значительное увеличение количества воспалительных заболеваний репродуктивной системы, частоты опухолевых процессов в области гениталий, возрастает число заболеваний молочных желез. Особое беспокойство вызывает устойчивое сохранение высокой распространённости нарушений менструального цикла, а также патологических состояний шейки матки и пролапса женских половых органов.

Надежность исследований подтверждается глубоким статистическим подкреплением, всесторонним мониторингом с последующим точным количественным и качественным изучением информации, обширным корпусом исследуемой информации, а также применением методов отсроченного контроля.

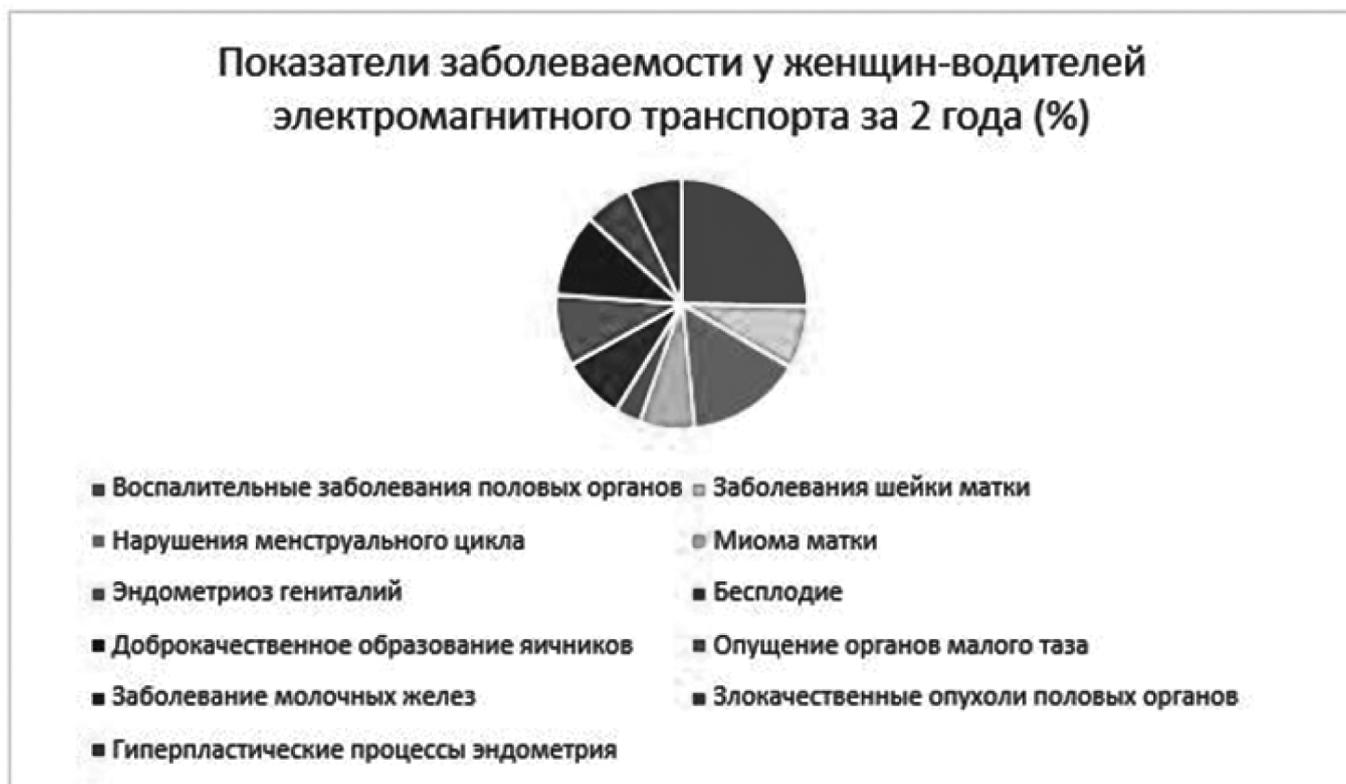


Рис. 1. Показатели заболеваемости у женщин-водителей электромагнитного транспорта за 2 года

Анализ данных гинекологической заболеваемости женщин-водителей электромагнитного транспорта за период 2022–2024 годов показал наибольшую значимость воспалительных заболеваний женских половых органов, частота которых в обеих исследуемых группах (20,0 % — 22 жен.)/(18,6 % — 13 жен.) превысила остальные показатели. У женщин, подлежащих обследованию, доминировали следующие воспалительные патологии репродуктивной системы: неспецифические кольпиты, сальпингиты и сальпингоофориты, которые чаще определялись у работниц электротранспорта. Из данной группы патологий в основной группе воспаления влагалища составляют 12,7 % (14 жен.), воспаления придатков 7,3 % (8 жен.), а в контрольной группе, соответственно, 10,0 % (7 жен.) и 6,6 % (6 жен.) ($p < 0,05$).

Среди обследованных женщин как основной, так и контрольной групп выявлена значительная доля нарушений менструальной функции, которая клинически проявляется нерегулярными менструациями, дисменореей и аномальными маточными кровотечениями. При этом нарушения менструального цикла встречаются чаще у женщин-водителей, работающих в сфере электромагнитного транспорта (11,8 % — 13 жен.), по сравнению с аналогичными расстройствами у участниц контрольной группы (8,0 % — 7 жен.) ($p < 0,05$).

Отмечались фоновые изменения шейки матки — эктопия, полипы, лейкоплакия, частота которых в основной группе была выше и составляла 6,4 % (7 жен.). В контрольной группе женщин данный показатель — 4,3 % (3 жен.) ($p < 0,05$).

Частота встречаемости миомы матки выше в основной группе женщин-водителей — 5,5 % (6 жен.), чем в контрольной — 2,9 % (2 жен.). Опухания органов малого таза в основной группе были определены в 7,3 % (8 жен.), а в контрольной — в 4,3 % (3 жен.). Доброкачественные образования яичников в основной группе составляют 6,4 % (7 жен.), в контрольной — 5,7 % (4 жен.). Гиперпластические процессы в эндометрии встречаются чаще в основной группе (5,5 % — 6 жен.), чем в контрольной (2,9 % — 2 жен.). Эндометриоз имел частоту в основной группе 2,7 % (3 жен.), а в контрольной — 1,4 % (1 жен.). Показатель бесплодия в контрольной группе был равен 0, в основной группе женщин-водителей его значение составило 4,3 % (4 жен.), при этом первичное бесплодие определялось как 2,9 % (3 жен.), а вторичное составляло 1,4 % (1 жен.). Заболевания молочных желез в основной группе были определены в 8,5 % (11 жен.) случаев, в контрольной — в 3,9 % (5 жен.) ($p < 0,05$).

Злокачественные опухоли гениталий в основной группе (4,8 % — 13 жен.) встречаются в 2 раза чаще, чем в контрольной (2,4 % — 5 жен.). Из них в основной группе рак шейки матки составляет 2,8 % (8 жен.), рак эндометрия — 1,1 % (3 жен.), рак яичников — 0,9 % (2 жен.).

В контрольной группе рак яичников и рак эндометрия составили по 0,3 % (1 жен.), рак шейки матки обнаружен в 1,8 % (3 жен.) ($p < 0,05$).

При оценке возрастной структуры гинекологической патологии среди женщин-водителей электротранспорта замечен рост заболеваемости. Самое большое количество случаев гинекологических заболеваний за изучаемый период отмечалось у работниц в возрасте 41–50 лет и составляло 49,4 % (39 жен.), в возрасте 31–40 лет оно составляло 36,4 % (28 жен.). В контрольной группе соответственно 44,7 % (17 жен.) и 30,8 % (14 жен.) ($p < 0,05$).

Наименьшее число случаев гинекологических заболеваний было выявлено у работниц в возрасте 20–30 лет. Данный показатель у основной группы составил 18,4 % (12 жен.), у контрольной — 15,2 % (7 жен.) ($p < 0,05$).

Важно отметить, что с увеличением возраста женщин наблюдается не только увеличение случаев заболеваемости в гинекологии, но и увеличение числа дней нетрудоспособности.

При проведении анализа данных, полученных за последние 2 года, была установлена зависимость случаев гинекологической патологии и от стажа трудовой деятельности женщин-водителей электромагнитного транспорта. Сравнив данные за исследуемый период, в обоих изучаемых группах обнаружено увеличение показателей заболеваемости в большей мере у женщин, имеющих стаж работы более 20 лет: в основной группе — 65,5 % (36 жен.), в контрольной — 50,0 % (19 жен.). Было обнаружено, что при увеличении стажа работы увеличиваются и показатели заболеваемости. Так, в основной группе женщин, имеющих стаж работы менее 5 лет, частота гинекологических заболеваний составила 6,3 % (5 жен.), а в контрольной группе в 5,3 % (2 жен.). При стаже профессиональной деятельности от 5 до 10 показатели заболеваемости в основной и контрольной группах составили, соответственно, 16,5 % (13 жен.) и 12,4 % (7 жен.). У женщин-водителей электромагнитного транспорта, имеющих стаж трудовой деятельности от 10 до 20 лет, данные показали заболеваемость в основной группе — 31,6 % (25 жен.) и 26,3 % (10 жен.) в контрольной ($p < 0,05$).

Установлена прямая корреляционная связь между возрастом работающих женщин, показателями их заболеваемости и стажем работы. При увеличении возраста работниц, их стажа трудовой деятельности увеличивается и средняя длительность течения заболеваний, что подтверждает негативную роль факторов профессиональной деятельности на женскую репродуктивную систему. Указанные изменения характеризуются ростом доли таких заболеваний, как нарушение менструального цикла, опухолевые образования женских половых органов,

гиперпластические процессы в эндометрии, опущения органов малого таза, образования в молочных железах.

При оценке совокупности факторов профессиональной деятельности, было установлено, что работа женщин-водителей электромагнитного транспорта осуществляется среди множества негативных производственных факторов, которые способствуют развитию патологических процессов в репродуктивной системе работниц.

Среди факторов, оказывающих патологическое влияние на репродуктивную систему, ведущую роль играет вибрация, так как она оказывает свое воздействие на женщин-работниц непрерывно (трехоктавные полосы 1,0 Гц, 1,2 Гц, 1,6 Гц, 2,0 Гц, 2,5 Гц).

На рабочем месте были проведены измерения уровня шума и инфракрасного излучения. Полученные уровни шума продемонстрировали значительные приближения к максимуму нормативных значений с учетом времени экспозиции. Стандартным допустимым уровнем является шум в 60 дБ. За 4 часа был зафиксирован уровень в 56 дБ, за 6 часов — 58 дБ, а за 8 часов — 60 дБ. Уровень инфразвука в пределах рабочей зоны оказался ниже установленных норм. Сравнивая с максимальным уровнем инфразвука, который составляет 39 Гц, за 4 часа воздействия он показал 30 Гц, за 6 часов — 35 Гц, а за 8 часов — 38 Гц.

Микроклимат имеет большое значение в формировании условий труда. В образовании микроклиматических условий важное значение имеет температура ограждающих поверхностей, которая сильно различается в разные периоды года (до 10 °С). Кроме того, параметры микроклимата зависят также от типа транспорта и наличия в нем системы кондиционирования.

Проводился анализ и уровня загрязненности воздуха на рабочих местах женщин-водителей электромагнитного транспорта, который находился в пределах допустимых норм. Концентрация оксида углерода варьировалась от 0,57 мг/м³ до 1,32 мг/м³ (при ПДК 5,0 мг/м³), содержание диоксида азота составляло от 0,010 мг/м³ до 0,013 мг/м³ (при ПДК 0,085 мг/м³), а диоксида серы — от 0,8 мг/м³ до 0,29 мг/м³ (при ПДК 0,5 мг/м³). Концентрация пыли в рабочей зоне зависела от типа отопления и колебалась от 0,30 мг/м³ до 0,48 мг/м³ (ПДК 0,5 мг/м³).

Обсемененность воздуха бактериями была связана с пассажиропотоком, его интенсивностью и качеством уборки пространства. Использование влажной уборки обеспечивало уменьшение бактериальной загрязненности воздушной среды в 4 раза по прошествии часа после выхода пассажиров. Наибольшая бактериальная концентрация была обнаружена в местах, где скопление пыли было наибольшим.

Согласно представленным данным, использование кондиционеров способствовало поддержанию концентрации бактерий в одном кубическом метре воздуха на уровне 3500±400, в то время как количество гемолитических стрептококков составляло около 28 в 1 м³, а гемолитических стафилококков — 43 в 1 м³. В электромагнитном транспорте, где отсутствовали кондиционеры, данные показатели оказались выше, причём общее количество микробов превышало допустимые нормы.

Искусственная освещенность имела значения от 122 лк до 128 лк (при норме не менее 150 лк), что является не достаточным. В среднем показатели освещен-

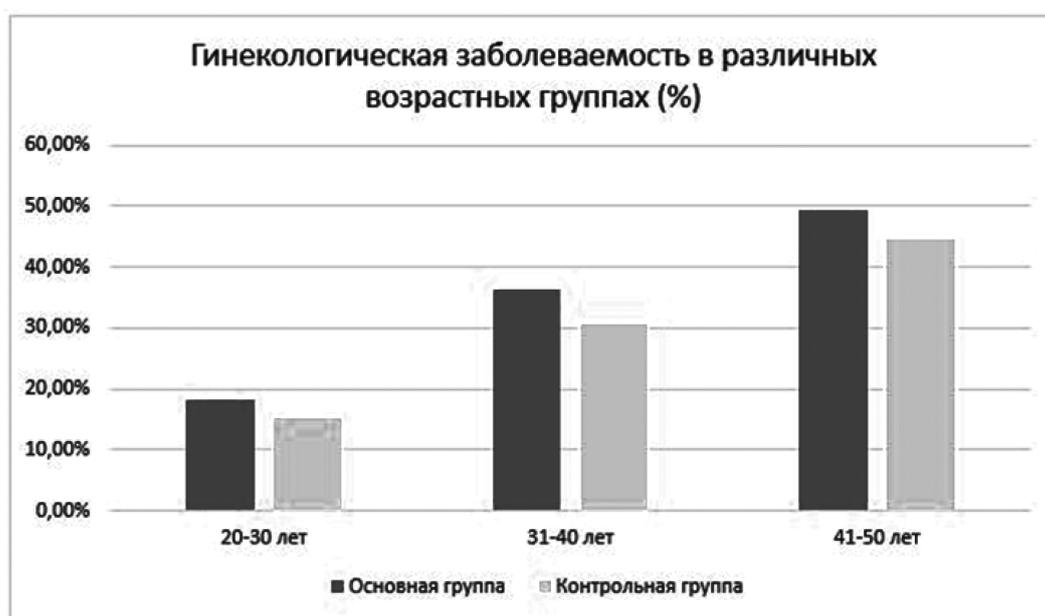


Рис. 2. Данные по гинекологическим заболеваниям в различных возрастных группах

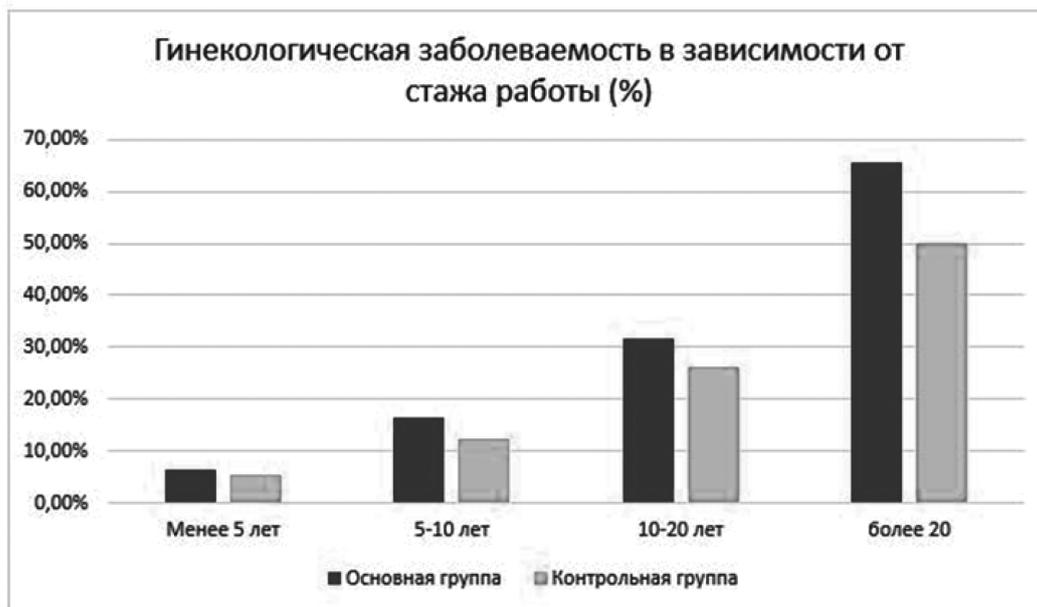


Рис. 3. Данные по гинекологическим заболеваниям в зависимости от стажа работы

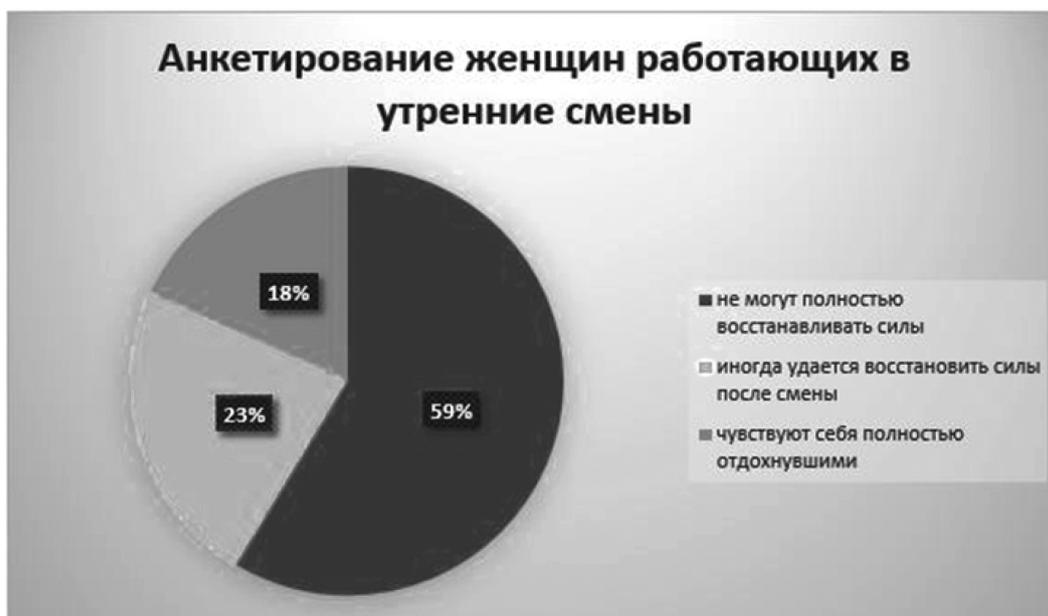


Рис. 4. Результаты анкетирования женщин, работающих в утренние смены

ности в рабочей зоне составляли от 33 лк до 45 лк (при норме 50 лк для ламп накаливания).

Результаты анкетирования показали, что 58,6 % женщин, работающих в утреннюю смену, не могут полностью восстановить силы из-за раннего начала трудового дня, 23,1 % респонденток иногда удается получить достаточный отдых перед началом смены, и лишь 18,3 % работниц отмечают, что чувствуют себя полностью отдохнувшими. В вечерней смене 46,4 % женщин-водителей имеют возможность восстановиться между сменами, тогда как 26,7 % не имеют такой возможности вовсе, а 26,9 % лишь иногда могут полноценно отдохнуть. Большинство женщин-водителей (70,5 %) спят примерно

по 6 часов, 23,8 % — менее 6 часов, и только 5,7 % спят около 8 часов в сутки. Это приводит к значительным нарушениям физиологических биоритмов, что может негативно сказаться на репродуктивной функции.

Оценив степень тяжести и напряженность трудовой деятельности по показателям, связанным с вредностью и рисками производственной среды, а также с тяжестью и интенсивностью рабочего процесса, было выявлено, что факторами, оказывающими самое неблагоприятное влияние, являлись сменность работы и продолжительность смены. По результатам проведенных исследований определена гигиеническая оценка трудовых условий для работниц данной профессии. Выяснено, что

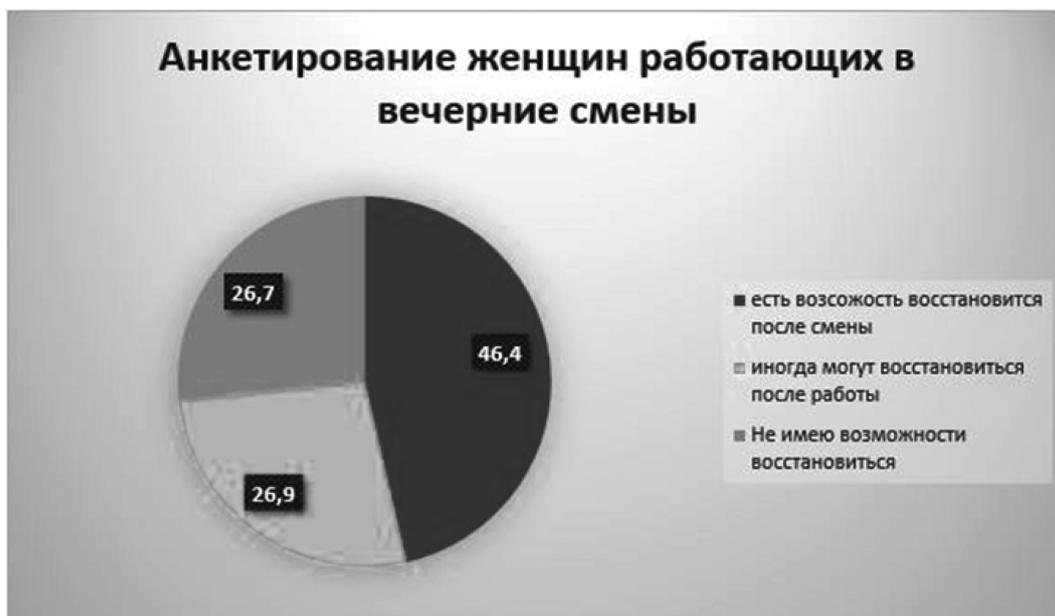


Рис. 5. Результаты анкетирования женщин, работающих в вечерние смены

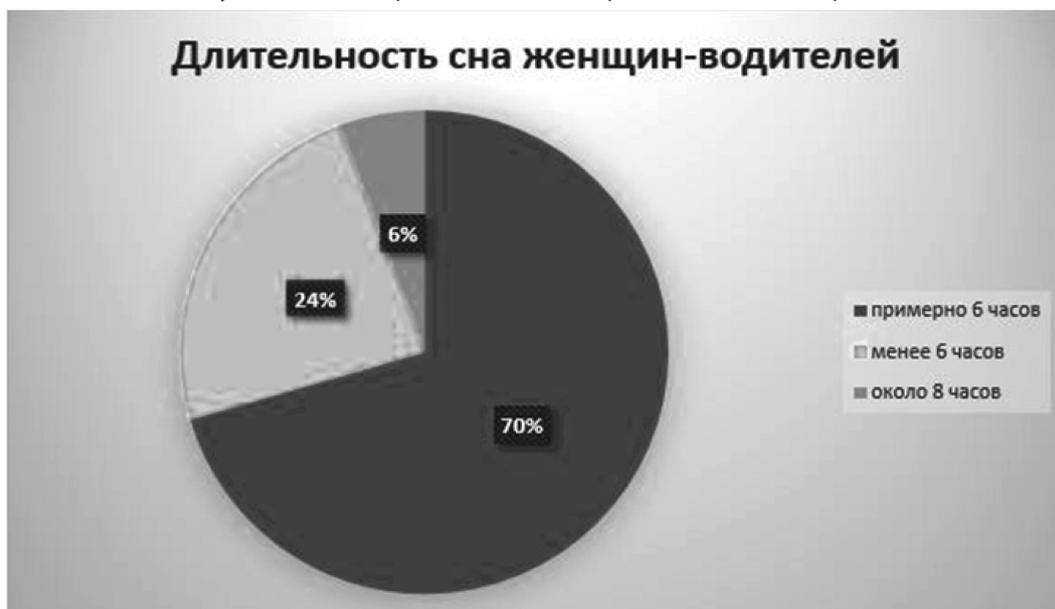


Рис. 6. Длительность сна женщин-водителей

условия труда женщин-водителей, работающих на электромагнитном транспорте, по классификации относятся к вредным 3 класса 2 степени.

В результате проведенного анализа были выявлены неблагоприятные для здоровья факторы в производственной среде. Наибольшее влияние оказывают такие аспекты, как шум, вибрация, а также нарушение естественных циклов сна и бодрствования, что может негативно сказаться на репродуктивной системе женщин и привести к возникновению гинекологических заболеваний. Таким образом, становится особенно важным предотвращение отрицательных последствий профессиональных рисков для репродуктивного здоровья женщин, работающих в сфере электромагнитного транспорта.

Проанализировав данные о различных гинекологических заболеваниях у женщин-водителей электромагнитного транспорта, следует сделать вывод об увеличении частоты гинекологических патологий. Особенно это касается нарушений менструального цикла, опущений органов малого таза, опухолевых заболеваний женских половых органов, гиперпластических процессов в эндометрии, заболеваний молочных желез.

Таким образом, исследованные профессиональные вредности в значительной степени оказывают негативное влияние на гинекологический статус и репродуктивную функцию женщин-водителей электромагнитного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дармограй Н.В., Шереметьева Е.В., Горская И.Н. Влияние производственных условий на специфические функции женского организма // Общественное здоровье и здравоохранение. Сб. научн. раб. СПбГМА им. Мечникова. — СПб: СПбГМА им. И.И. Мечникова, 2002 — С.183–185.
2. Маймулов В.Г., Нагорный С.В., Шабров А.В. Основы системного анализа в эколого-гигиенических исследованиях. СПб.: СПбГМА им. И.И. Мечникова. 2000 — 342 с.
3. Дармограй Н.В., Хажомия Р.К. Профессиональные факторы риска развития репродуктивной патологии у работающих женщин // Вестник Санкт-Петербургской государственной медицинской академии им. И.И. Мечникова. — 2009. — № 3 (32). — С. 40–43.
4. Лучкевич В.С., Дармограй Н.В. Профессиональная деятельность как фактор риска развития репродуктивной патологии у женщин // Здоровье населения и качество жизни: электронный сборник материалов IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции / под редакцией з.д.н. РФ, проф. В.С. Лучкевича. — СПб., 2022. — Часть 1. — 400 с. — С. 301–306.
5. Национальная стратегия действий в интересах женщин на 2017–2022 годы. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 марта 2017 г. N 410-р

© Россолько Дмитрий Сергеевич (drossolko@mail.ru); Кулагина Дарья Вячеславовна (darya.kulagina@list.ru);

Тухова Рената Андреевна (renata434420@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВОЗДЕЙСТВИЕ ХРОМОТЕРАПИИ НА ПониЖЕНИЕ Артериального Давления Во время сна у больных гипертонией

Эльжуркаева Лидия Раисовна

кандидат медицинских наук, ФГБОУ ВО «Чеченский
государственный университет им. А.А. Кадырова»

THE EFFECT OF CHROMOTHERAPY ON LOWERING BLOOD PRESSURE DURING SLEEP IN PATIENTS WITH HYPERTENSION

L. Elzhurkaeva

Summary. The study was aimed at studying the effectiveness of chromotherapy using a combination of green and blue light in reducing blood pressure in patients with hypertension. **Materials and methods.** The study was conducted from January to July 2024 at the Republican Clinical Hospital of Makhachkala with the participation of 40 patients divided into two groups: the intervention group receiving chromotherapy and the control group not undergoing intervention. The choice of LEDs for therapy was based on their ability to emit green and blue light, which was considered the most effective in the practice of chromotherapy. The procedures lasted from 15 to 30 minutes in a darkened room, ensuring complete relaxation of the participants. **Results.** After completing the chromotherapy cycle, the intervention group showed a significant decrease in blood pressure, while there were no significant changes in the control group. The average pressure in the treated group decreased to 48.89 mmHg, which is statistically significant at $p < 0.05$. On the contrary, there was a tendency to increase pressure in the control group. **Conclusions.** Chromotherapy has demonstrated a positive effect on blood pressure levels and can become an effective attribute of hypertension treatment. This method also helps to improve the psychological state and overall reduce stress factors in patients. While the results indicate the potential of chromotherapy in complex therapy, more research is needed to understand its mechanism of action and long-term effects. These findings highlight the importance of studying non-chemical treatments in modern medicine and the need for further clinical trials to confirm these findings.

Keywords: effects of chromotherapy, blood pressure, hypertension, patients, therapy method.

Аннотация. Исследование было направлено на изучение эффективности хромотерапии, применяющей сочетание зеленого и синего света, в снижении артериального давления у пациентов с гипертонией. **Материалы и методы.** Исследование проводилось с января по июль 2024 года в Республиканской клинической больнице города Махачкала с участием 40 пациентов, разделенных на две группы: группу вмешательства, получавшую хромотерапию, и контрольную группу, не подвергавшуюся вмешательству. Выбор светодиодов для терапии был основан на их способности излучать зеленый и синий свет, считавшийся наиболее эффективным в практике хромотерапии. Процедуры длились от 15 до 30 минут в затемненной комнате, обеспечивая полное расслабление участников. **Результаты.** После завершения цикла хромотерапии группа вмешательства показала значительное снижение артериального давления, в то время как в контрольной группе не произошло значительных изменений. Среднее давление в группе, получавшей лечение, снизилось до 48,89 мм рт. ст., что статистически значимо при $p < 0,05$. Напротив, в контрольной группе наблюдалась тенденция к увеличению давления. **Выводы.** Хромотерапия продемонстрировала положительное влияние на уровень артериального давления и может стать эффективным атрибутом лечения гипертонии. Данный метод также способствует улучшению психологического состояния и общему снижению стрессовых факторов у пациентов. В то время как результаты свидетельствуют о потенциале хромотерапии в комплексной терапии, необходимы дополнительные исследования для понимания её механизма действия и долгосрочных эффектов. Эти выводы подчеркивают значимость изучения нехимических методов лечения в современной медицине и необходимости дальнейших клинических испытаний для подтверждения этих находок.

Ключевые слова: воздействие хромотерапии, артериальное давление, гипертония, пациенты, метод терапии.

Введение

Хромотерапия, также известная как цветотерапия, колорология или кроматерапия, представляет собой метод альтернативной медицины, который не имеет научного обоснования [1]. Сторонники хромотерапии утверждают, что с помощью цвета можно восстановить баланс «энергии», которой не хватает на физическом, эмоциональном, духовном и психическом уровнях человека. Цветотерапия отличается от других видов лечения с использованием света, таких как фото-

терапия и внутривенное облучение крови, которые признаны научными методами и применяются для лечения различных болезней, а также от фотобиологии — научной дисциплины, изучающей влияние света на живые существа [2].

Воздействие хромотерапии на снижение артериального давления в ночное время у пациентов с гипертонией вызывает всё больший интерес, несмотря на отсутствие строгой научной базы. В России, как и во всём мире, гипертония остается одной из наиболее распро-

страненных и серьезных сердечно-сосудистых проблем. По данным Министерства здравоохранения РФ, около 40 % взрослого населения страны страдают от повышенного кровяного давления. На глобальном уровне, согласно Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), около 1,13 миллиарда человек во всем мире живут с гипертонией [2].

Актуальность поиска дополнительных методов контроля этого заболевания связана с его масштабностью и серьезными последствиями, такими как инсульт и инфаркт [3]. Хромотерапия предлагает нестандартный подход к улучшению общего самочувствия и снижению стресса, что может потенциально влиять на уровень артериального давления, особенно во время сна, когда организм восстанавливается. Исследователи отмечают, что определенные цветовые гаммы могут способствовать релаксации и улучшению качества сна [4], что, в свою очередь, может оказывать благоприятное воздействие на сердечно-сосудистую систему [5].

Однако, чтобы сделать окончательные выводы о потенциале цветотерапии в снижении давления, необходимы более глубокие исследования и клинические испытания. Поэтому целью исследования является определение эффективности хромотерапии в артериальном давлении у пациентов с артериальной гипертензией. Для достижения этой цели планируется провести рандомизированное контролируемое испытание с участием пациентов, страдающих гипертонией, чтобы детально изучить влияние различных цветовых стимулов на уровень их кровяного давления.

Материалы и методы

Исследование было проведено в период с января по июль 2024 года в Республиканской клинической больнице г. Махачкала. Все участники подписали информированное согласие о проведении исследования. В этом квазиэкспериментальном исследовании применялся дизайн с одной экспериментальной (вмешательства) группой и одной контрольной. Пациенты из экспериментальной группы получали лечение хромотерапией, тогда как контрольная группа не подвергалась такому воздействию. Артериальное давление измерялось у обеих групп до начала терапии и после её завершения [1, 2]. Исследование охватило 40 пациентов с диагнозом гипертония. Эти пациенты были поровну распределены между двумя группами: 20 были в группе, которой проводилось лечение, и 20 вошли в контрольную группу. Для оценки различий между показателями до и после вмешательства в каждой группе использовался U-критерий Манна-Уитни. Статистическая значимость результатов считалась при $p < 0,05$. Анализ данных осуществлялся с помощью программы IBM SPSS™.

В процессе этого исследования использовались светодиоды, излучающие зеленый и синий свет. Лечение проводилось в затемненной комнате с применением светового устройства высотой 50 см, которое размещалось на высоте 210 см над участниками и оставалось включенным в течение 15–30 минут. Испытуемым предлагалось расслабиться и закрыть глаза во время процедуры. После завершения сессии у участников вновь измеряли артериальное давление.

Результаты

Перед началом основного исследования было важно учесть базовые демографические характеристики участников. В таблице 1 представлено распределение участников по полу, возрасту и уровню образования в обеих группах — вмешательства и контроля. Эти данные обеспечивают исходное понимание структуры выборки и подтверждают отсутствие значимых различий между группами, что важно для последующего анализа результатов.

Таблица 1.

Распределение участников по полу, возрасту и уровню образования

Параметры	Категория	Группы				p-значение
		Вмешательство		Контроль		
		n	%	N	%	
Пол	Мужской	9	46,7	10	50	0,519
	Женский	11	53,3	10	50	
Итого		20	100	20	100	
Возраст	40–45	6	30	4	20	0,258
	46–50	8	40	6	30	
	51–55	6	30	10	50	
Уровень образования	Средняя общеобразовательная школа	1	5	2	10	
	Среднее профессиональное образование	7	35	5	25	
	Высшее профессиональное образование	12	60	13	65	
Итого		20	100	20	100	

Источник: составлено автором

Следует отметить, что в начале исследования проводилось предварительное тестирование, чтобы устано-

вить базовый уровень артериального давления участников до начала хромотерапии.

В таблице 2 представлено, что лечение с использованием хромотерапии способствовало снижению артериального давления.

Таблица 2.

Распределение артериального давления у участников с гипертензией до и после лечения

Переменные	Категория	Предварительный тест		Посттест	
		F	%	F	%
Кровяное давление	Вмешательство	F	%	F	%
	Нормальный	0	0		0
	Предгипертензия	0	0	1	1,7
	Гипертензия 1 стадии	3	15	9	45
	Гипертензия 2 стадии	12	60	11	55
	Изолированная систолическая гипертензия	5	25	0	0
	Итого	20	100 %	20	100 %
	Контроль	F	%	F	%
	Нормальный	0	0	0	0
	Предгипертензия	2	10	0	0
	Гипертензия 1 стадии	7	35	6	30
	Гипертензия 2 стадии	8	40	13	60
	Изолированная систолическая гипертензия	3	15	2	10
	Итого	20	100%	20	100

Источник: составлено автором

После завершения сеансов хромотерапии и повторного измерения давления было обнаружено улучшение состояния, и у 60,5 % участников давление соответствовало уровню артериальной гипертензии I степени. В отличие от этого, в контрольной группе не наблюдалось значительного снижения давления; у 45,3 % участников сохранился уровень артериальной гипертензии I степени при первичном тестировании, а последующее измерение показало повышение давления до II степени у 63 % участников.

Эти результаты были особенно примечательны с учётом того, что изначально разница в показателях между группами была незначительной: среднее давление в группе, получавшей лечение, составляло 171/95 мм рт. ст., а в контрольной группе — 163/94 мм рт. ст. После проведения хромотерапии в группе вмешательства наблюдалось снижение артериального давления до сред-

него значения 165/90 мм рт. ст., тогда как в контрольной группе существенных изменений давления не произошло, показатели составили 164/96 мм рт. ст. В результате, среднее уменьшение артериального давления в результате применения хромотерапии составило от 10 до 14 мм рт. ст.

Динамика изменений артериального давления была тщательно проанализирована для более глубокого понимания влияния хромотерапии на состояние участников исследования до и после лечения. В таблице 3 представлена информация о том, что до начала лечения среднее артериальное давление в экспериментальной группе было 66,72, тогда как в контрольной — 50,17.

Таблица 3.

Анализ средних различий в уровнях стресса в основной и контрольной группах

Параметры	Контроль	Mean	SD	Min-Max	p-значение
Перед вмешательством хромотерапия	вмешательство (n = 20)	66,72	0,469	3–4	0,001
	Контроль (n = 20)	50,17	0,596	2–4	
После вмешательства хромотерапия	вмешательства (n = 20)	48,89	0,510	2–3	0,000
	Контроль (n = 20)	70,02	0,524	2–5	

Источник: составлено автором

Проведенные анализы с использованием U-критерия Манна-Уитни показали, что до хромотерапии значимых различий в артериальном давлении между основной и контрольной группами не наблюдалось у пациентов с артериальной гипертензией. Однако после лечения в группе вмешательства произошло значительное снижение артериального давления, в отличие от контрольной группы (p = 0,000); средний показатель в группе лечения снизился до 48,89, тогда как в контрольной группе давление не уменьшилось, а напротив, имелась тенденция к увеличению до 70,02.

Обсуждение

Исходные демографические характеристики участников свидетельствовали об отсутствии значимых различий между группами вмешательства и контроля, что обеспечивало сопоставимость выборок и минимизировало возможность влияния внешних факторов на результаты. Эти данные подтверждены отсутствием значимых различий в показателях артериального давления до начала эксперимента, согласно предварительным U-критериям Манна-Уитни.

Результаты нашего исследования показали, что хромотерапия оказала положительное влияние на снижение артериального давления в группе лечения. Средние показатели артериального давления среди участников, проходивших хромотерапию, значительно уменьшились после проведенных сеансов. Это было подтверждено значительным снижением гипертензии с II до I стадии у большинства участников группы вмешательства. В то же время, контрольная группа не продемонстрировала аналогичных улучшений, и в некоторых случаях наблюдалось даже ухудшение состояния с повышением стадии гипертензии у части участников.

Динамика изменений давления показывает, что в контрольной группе среднее артериальное давление осталось практически на таком же уровне, в то время как в группе вмешательства оно уменьшилось до 48,89 мм рт. ст. Это сокращение давления в группе лечения, подтверждаемое статистически значимым р-значением, предполагает, что хромотерапия может быть эффективным немедикаментозным подходом в управлении артериальной гипертензией у пациентов.

Таким образом, наши результаты согласуются с выводами других исследований [6–8], которые утверждают, что хромотерапия может оказывать благотворное воздействие на артериальное давление благодаря её спо-

собности воздействовать на нервную систему и оказывать расслабляющий эффект [9–10]. В свете полученных данных можно предположить, что хромотерапия имеет потенциал стать частью комплексной терапии гипертензии, особенно у тех пациентов, кто предпочитает альтернативные методы лечения. Однако, для более глубокого понимания механизма действия и подтверждения этих выводов требуется дальнейшее исследование.

Заключение

Хромотерапия, применяющая комбинацию зеленого и синего света, доказала свою эффективность в стимуляции гипофиза и шишковидной железы. Это способствует выработке гормонов, таких как серотонин и эндорфин, что играет ключевую роль в поддержании психологического равновесия, улучшении настроения и эмоционального состояния, а также восстановлении поврежденных клеток и обеспечении организма необходимой целебной энергией. В связи с этим, данное исследование рекомендует использование хромотерапии как средство для уменьшения стресса и снижения артериального давления у пациентов, страдающих гипертензией. Эти выводы подчеркивают важность нехимических методов лечения в современной медицине. Однако для полной реализации потенциала хромотерапии требуются дальнейшие исследования и клинические испытания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонова М.В. Возможности хромотерапии при артериальной гипертензии и коморбидных заболеваниях / М.В. Леонова // *Consilium Medicum*. — 2020. — Т. 22, № 1. — С. 31–37.
2. Боев С.С. Хромотерапия артериальной гипертензии: современное состояние вопроса / С.С. Боев, Н.Я. Доценко, И.А. Шехунова, и др. // *Артериальная гипертензия*. — 2018. — № 6. — С. 23–29.
3. Yousuf S.T. Complementary therapies in medicine: the mechanistic basis of chromotherapy: Current knowledge and future perspectives / S.T. Yousuf, H.M. Rafiq, I. Ismail, et al. // *Complementary Therapies in Medicine*. — 2019. — Vol. 46 (August). — P. 217–222. DOI: 10.1016/j.ctim.2019.08.025.
4. Ayala D.E. Cardiovascular risk of resistant hypertension: dependence on treatment time regimen of blood pressure lowering medications / D.E. Ayala, R.C. Hermida, A. Mojón, et al. // *Chronobiol. Int.* — 2013. — Vol. 30. — P. 340–352. DOI: 10.3109/07420528.2012.701455.
5. Mills K. T. Global disparities of hypertension prevalence and control / K.T. Mills, J.D. Bundy, T.N. Kelly, et al. // *Circulation*. — 2016. — Vol. 134, № 6. — P. 441–450. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018912.
6. Chowdhury M.Z.I. Hypertension prevalence and its trend in Bangladesh: Evidence from a systematic review and meta-analysis / M.Z.I. Chowdhury, M. Rahman, T. Akter, et al. // *Clinical Hypertension*. — 2020. — Vol. 26, № 1. DOI: 10.1186/s40885-020-00143-1.
7. Sajatovic M. Illness Experience and Reasons for nonadherence among individuals with bipolar disorder who are poorly adherent with medication / M. Sajatovic, J. Levin, E. Fuentes-Casiano, et al. // *Comprehensive Psychiatry*. — 2011. — Vol. 52, № 3. — P. 280–287. DOI: 10.1016/j.comppsy.2010.07.002.
8. Hermida R.C. Chronotherapy with conventional blood pressure medications improves management of hypertension and reduces cardiovascular and stroke risks / R.C. Hermida, E.A. Diana, M.H. Smolensky, et al. // *Hypertens Res.* — 2016. — Vol. 39, № 5. — P. 277–292. DOI: 10.1038/hr.2015.142.
9. Hermida R.C. Hypertension: New perspective on its definition and clinical management by bedtime therapy substantially reduces cardiovascular disease risk / R.C. Hermida, E. Diana Ayala, J. R. Fernández, et al. // *European Journal of Clinical Investigation*. — 2018. — Vol. 48, № 5. — P. e12909. DOI: 10.1111/eci.12909.
10. Hermida R.C. Bedtime dosing of antihypertensive medications reduces cardiovascular risk in CKD / R.C. Hermida, D.E. Ayala, A. Mojón, et al. // *J. Am. Soc. Nephrol.* — 2011. — Vol. 22. — P. 2313–2321. DOI: 10.1681/ASN.2011040361.

© Эльжуркаева Лидия Раисовна

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С БРУКСИЗМОМ

METHODS OF EVALUATION AND TREATMENT OF PATIENTS WITH BRUXISM

A. Yartseva
L. Tolstunov
E. Chepik
D. Shanigina
E. Dybova

Summary. Bruxism is one of the actual and unsolved problems of medicine due to its polyetiology. Neurological, psychiatric, dental, and orthopedic causes of bruxism are distinguished. However, to date, according to the international classification of diseases, this pathology is attributed to psychiatric, in connection with which, most patients fall to a non-specialized doctor and receive only symptomatic treatment. This literature review summarizes the latest scientific data on the etiology, diagnosis and treatment of bruxism. Special attention is paid to the so-called vicious circle of myofascial pain syndrome development «spasm-pain-spasm». It is noted that in the presence of anatomical substrate in the form of malocclusion the most effective treatment is anatomical correction of the biomechanics of temporomandibular joint, if there is no significant anatomical malformation, the treatment should necessarily include the use of botulinum toxin, which is not only a myoparalytic drug, but, as recent studies have shown, provides a change in the hyperactivity of stem and spinal interneurons, restructures the motor program.

Keywords: bruxism, temporomandibular joint dysfunction.

Ярцева Александра Вадимовна

кандидат медицинских наук,
ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»
a.v.yartseva@gmail.com

Толстунов Леонид Григорьевич

кандидат медицинских наук,
ЧУОО ВО «Медицинский университет «Реавиз»
leonid.tolstunov@mail.ru

Чепик Екатерина Александровна

кандидат медицинских наук, ассистент,
ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»
che.katya@mail.ru

Шаныгина Диана Владимировна

кандидат медицинских наук,
ЧУОО ВО «Медицинский университет «Реавиз»
disha1disha@mail.ru

Дыбова Екатерина Валерьевна

старший преподаватель,
ЧУОО ВО «Медицинский университет «Реавиз»
katerina_6@mail.ru

Аннотация. Бруксизм, в связи с его полиэтиологичностью, является одной из актуальных и нерешенных проблем медицины. Среди причин возникновения выделяют неврологические, психические, стоматологические, ортопедические причины бруксизма. Однако, на сегодняшний день, в соответствии с международной классификацией болезней, данную патологию относят к психическим, в связи с чем, большинство пациентов попадает к непрофильному врачу-специалисту и получают лишь симптоматическое, ограниченное лечение. В данном литературном обзоре приведены последние научные данные по вопросу этиологии, диагностики и лечения бруксизма. Особое внимание уделено так называемому порочному кругу развития миофасциального болевого синдрома «спазм-боль-спазм». Отмечено, что при наличии анатомического субстрата в виде аномалий окклюзии наиболее эффективным в лечении является анатомическая коррекция биомеханики височно-нижнечелюстного сустава, если же нет значимого анатомического порока, то лечение обязательно должно включать применение ботулотоксина, которые не только являются миопаралитическим препаратом, но и, как показали последние исследования, обеспечивает изменение гиперактивности стволовых и спинальных интернейронов, перестраивает моторную программу.

Ключевые слова: бруксизм, дисфункция височно-нижнечелюстного сустава.

Бруксизм («ночной скрежет зубами») — это синдром, который характеризуется стереотипными движениями нижней челюсти в результате непроизвольной деятельности жевательной мускулатуры. Бруксизм может проявляться как во время сна, так и во время бодрствования, тогда его принято классифицировать как гиперкинез [1]. По международной классификации

болезней (МКБ-10), бруксизм принято делить на первичный и вторичный. Первичный бруксизм является наследственным, вторичный возникает на фоне какого-либо заболевания [1].

Бруксизм в современной международной классификации болезней (МКБ-10) стоит в подразделе психиа-

трических заболеваний, является прерогативой врачей-психиатров [2].

Ряд специалистов трактует бруксизм как двигательное расстройство, связанное со сном — ICSD-3/2/2014/ n.6-Movement Disorders. Также можно трактовать бруксизм как соматоформное расстройство (F45/8 — other somatoform disorders). По иностранным гайдлайнам, до сих пор бруксизм лечится с помощью психотропных препаратов, психотерапии [1].

Можно также встретить источники, в которых бруксизм связывают с термином «Окклюзионная дисгармония», который указывает на развитие бруксизма по механизму компенсации неправильного положения височно-нижнечелюстного сустава из-за аномалии окклюзии [3].

В дополнение, ряд авторов использует терминологию «автономная дисфункция» и «парафункция» и корректируют бруксизм посредством работы по коррекции жевательных мышц, постурологических особенностей, краниосакрального аппарата [3].

В последние годы становится очевидным, что проблема бруксизма является комплексной и ее эффективное решение возможно только при мультидисциплинарном подходе к диагностике. Также вполне очевидно, что бруксизм является проблемой полиэтиологичной.

Актуальность проблемы бруксизма заключается в достаточно низкой эффективности его коррекции, отсутствии алгоритмов по поиску патологического звена, запускающего стереотипные мышечные движения — синдром один, а причины, вызывающие его, совершенно различны.

Цель данного обзора заключается в обзоре последних (современных) наиболее доказательных данных литературных источников по вопросу клиники, диагностики и лечения бруксизма.

Проведен литературный обзор, который по дизайну исследования не является систематическим и не содержит метаанализ в связи с высокой гетерогенностью работ по данной теме, отсутствия, по состоянию на 2024 год, достаточного количества рандомизированных исследований.

Тем не менее, в мировой литературе можно найти достаточное количество клинических случаев и серий клинических случаев, результатов современной диагностики бруксизма.

Манифестация бруксизма

Бруксизм в среднем чаще встречается у женщин чем у мужчин (60 % против 40 %). Средний возраст обраща-

емости с симптомами бруксизма находится в диапазоне от 40 до 45 лет.

Существует несколько групп симптомов, которые являются ведущими при бруксизме [4]:

1. Стоматологические (повышенная стираемость зубов, аномалии окклюзии, адентальный компрессионный синдром, окклюзионная травма зуба, скалы и трещины).
2. Мышечные (так называемая мышечно-суставная дисфункция).
3. Суставные — дисфункция височно-нижнечелюстного сустава (ДВНЧС) и связанная с ним боль, щелчки при открывании рта, ограничение подвижности нижней челюсти.
4. Эстетические (выделяют некоторые эстетические аспекты бруксизма: «квадратное» или «тяжелое» лицо, широкие скулы, уменьшение высоты нижней трети лица, а нарушение пропорций, неэффективность контурной пластики и БТА-лифтинга, нарушение овала лица, носогубные и губоподбородочной складки, глубокие морщины межбровные и лобные морщины).

Критерии клинической диагностики бруксизма

Диагностика бруксизма начинается со сбора жалоб и анамнеза. Пациент как правило указывает на то, что он сжимает или скрипит зубами во время сна. Также у него присутствует один из нижеследующих признаков [5]:

1. Повышенная стираемость зубов.
2. Дискомфорт, усталость или боль в области жевательных мышц или блокировка движений челюсти при пробуждении (миофасциальный болевой синдром), возникающие при перегрузке жевательной мускулатуры, встречаются у 35 % процентов с прозопапалгиями [4].
3. Гипертрофия жевательных мышц.

Инструментальная диагностика бруксизма проводится в формате полисомнографии с регистрацией ЭМГ (электромиограммы). Она сводится к подтверждению следующих критериев:

1. Два или более эпизода бруксизма, сопровождающихся звуком.
2. Более четырех эпизодов в бруксизма в час в течение сна.
3. Более 20 всплесков активности на электроэнцефалограмме в час в течение сна.
4. Более шести вспышек ритмические жевательной активности в течение эпизода бруксизма.

Предрасполагающие, провоцирующие, поддерживающие факторы бруксизма

По данным анализов предрасполагающие факторы бруксизма — это [5–6]:

1. Дизокклюзия.
2. Ортопедические нарушения.
3. Наследственная гипермоторность жевательной мускулатуры

Провоцирующие факторы:

1. Стоматологические манипуляции.
2. Стресс.
3. Травма челюстно-лицевой области.

Поддерживающие факторы [7]:

1. Вторичные изменения в височно-нижнечелюстного суставе и мышцах.
2. Психовегетативный синдром.

Место компьютерной томографии области лица в диагностике причин бруксизма

Безусловно, нарушение биомеханики височно-нижнечелюстного сустава составляет важное патогенетическое звено в развитии бруксизма.

Стоматология отводит строению и виду окклюзии зубных рядов главную роль в патогенезе ДВНЧС, так как именно они определяют пространственную конфигурацию нижней челюсти в привычной окклюзии. Именно от этого положения зависит состояние мышц и головки сустава [8].

Нарушение окклюзии приводит к тому, что височно-нижнечелюстной сустав занимает вынужденное вторичное положение, нередко происходит щелчок при открытии рта, что связано с дислокацией суставного диска и его травматизацией [9].

При вынужденном неправильном положении головки происходит компенсаторная реакция — при перерастяжении задней части суставной капсулы происходит рефлекторная активация мышечного аппарата. Возникает гипертонус, стойкий спазм. Механизм мышечной реакции направлен на смещение головки в физиологическое положение методом «притирания» твердых тканей зубов [10].

Чаще всего мышечная компенсация является нежизнеспособной — при «запущенном» бруксизме происходит потеря высоты зубов, еще большее смещение челюсти. При этом может исчезать щелчок, но в таком случае уже ограничивается возможность открытия рта из-за заклинивания суставного диска в передних отделах суставной капсулы присоединяется отек, болевой компонент [11].

С учетом того, что аномалии окклюзии являются достаточно распространенной проблемой среди современного населения, важным является объективная диагностика состояния височно-нижнечелюстного сустава.

Наиболее подходящим методом диагностики ДНЧС является конусно-лучевая компьютерная томография. Она позволяет выявить артроз головки нижней челюсти с истончением хряща суставной поверхности, наличием эрозий, утолщением и уплотнением суставной поверхности височной кости.

Адекватная коррекция биомеханических проблем позволяет достичь почти полного регресса болевого синдрома даже при наличии артроза головки нижнечелюстного сустава симптомы цефалгии и бруксизм могут практически полностью исчезнуть [11].

Миофасциальный болевой синдром — ведущий компонент бруксизма

Миофасциальный болевой синдром выявляется у 54 % процентов с бруксизмом. Именно он является причиной лицевой боли, которая значительно ухудшает качество жизни пациента. В связи с этим, следует уделять достаточное внимание терапии болевого синдрома [1,4].

Патогенез миофасциальной боли достаточно сложен. Он состоит из следующих компонентов [7]:

1. Рефлекс растяжение и травма мышц
2. Ишемический спазм мышечной ткани
3. Гиперактивность мышечных веретен
4. Гиперактивность концевых двигательных пластинок
5. Периферическая сенситизация
6. Центральная сенситизация и гипералгезия.

Исходя из вышеописанных компонентов, можно заключить, что в патогенезе миофасциального болевого синдрома лежит порочный круг «спазм — боль — спазм»

Клинические особенности прозопагии при бруксизме

Как было сказано ранее, болевой синдром при бруксизме имеет миофасциальный генез. Исходя из этого, можно заключить, что боль имеет следующие характеристики: она постоянная, монотонная, ноюще-ломающая, усиливается ночью, не имеет триггерных зон, с широкой иррадиацией (в шею, ухо, твердое небо), купируется теплом или массажем [8].

Объективная диагностика бруксизма — исследование электрической активности лицевой мускулатуры

Активно внедряются устройства компактного дизайна для проведения электрофизиологических исследований во время сна. Пациент может самостоятельно накладывать электроды на лицо [11]. Электроды не имеют проводов, крепятся достаточно плотно с помощью клей-

кого слоя. Отсутствие проводной связи с принимающим устройством позволяет избежать двигательных артефактов и регистрировать активность лицевых мышц с целью оценки реципрокной регуляции, функционального взаимоотношения мышц — антагонистов и синергистов в процессе жевания и движения нижней челюсти [4; 5].

Методы лечения бруксизма

Среди современных методов лечения бруксизма наибольшей доказательностью обладает метод инъекции ботулотоксина в жевательную мышцу. Данные инъекции выполняются в условиях амбулаторного лечения и являются золотым стандартом реабилитации пациентов с мышечными спазмами любой этиологии [11].

Ботулотоксин работает по механизму блокирования выхода нейромедиатора в синаптическую цель. При первом введении данный препарат банально вызывает паралич мышечной ткани. Однако при курсовом лечении наблюдается накопительный эффект препарата, при котором активизируются процессы перестройки рефлекторных дуг.

Иначе говоря, ботулинический нейропептид модифицирует афферентацию от мышечных рецепторов в центральную нервную систему, таким образом влияя на механизмы нейропластичности и изменяя гиперактивность стволовых и спинальных интернейронов, перестраивает моторную программу.

Терапия миофасциального болевого синдрома при бруксизме

Помимо ботулинотерапии, важным звеном лечения является купирование болевого синдрома. Оно (лечение) основано на трех принципах: обезболивание, миорелаксация, восстановление окклюзии [7].

В связи с этим применяются различные группы препаратов: миорелаксанты, нестероидные противовоспалительные препараты для снижения отека от повреждения мышечных волокон и ингибирования циклооксигеназы. Важное значение имеет релаксационная терапия-рефлекс терапия, массаж, шинотерапия.

В проведенном обзоре представлены актуальные научные данные по вопросу этиологии, диагностики и лечения бруксизма. Особое внимание уделено так называемому «порочному кругу» развития миофасциального болевого синдрома «спазм-боль-спазм». Отмечено, что при наличии анатомического «субстрата» в виде аномалии окклюзии зубных рядов наиболее эффективным в лечении является анатомическая коррекция биомеханики височно-нижнечелюстного сустава. В случае отсутствия значимых морфо-функциональных нарушений, лечение обязательно должно включать применение ботулотоксина, который не только является миопаралитическим препаратом, но и как показали последние исследования, обеспечивает изменение гиперактивности стволовых и спинальных интернейронов, перестраивает моторную программу.

ЛИТЕРАТУРА

- Chen Y, Tsai CH, Bae TH, Huang CY, Chen C, Kang YN, Chiu WK. Effectiveness of Botulinum Toxin Injection on Bruxism: A Systematic Review and Meta-analysis of Randomized Controlled Trials. *Aesthetic Plast Surg.* 2023 Apr;47(2):775–790. doi: 10.1007/s00266-023-03256-8. Epub 2023 Jan 24. PMID: 36694050.
- Hägman-Henrikson B, Ali D, Aljamal M, Mrchanovic BR. Bruxism and dental implants: A systematic review and meta-analysis. *J Oral Rehabil.* 2024 Jan;51(1):202–217. doi: 10.1111/joor.13567. Epub 2023 Aug 17. PMID: 37589382.
- Ierardo G, Mazur M, Luzzi V, Calcagnile F, Ottolenghi L, Polimeni A. Treatments of sleep bruxism in children: A systematic review and meta-analysis. *Cranio.* 2021 Jan;39(1):58–64. doi: 10.1080/08869634.2019.1581470. Epub 2019 Feb 26. PMID: 30806589.
- Alam MK, Alsharari AHL, Shayeb MAL, Elfadil S, Cervino G, Minervini G. Prevalence of bruxism in down syndrome patients: A systematic review and meta-analysis. *J Oral Rehabil.* 2023 Dec;50(12):1498–1507. doi: 10.1111/joor.13563. Epub 2023 Aug 13. PMID: 37507203.
- Granja GL, Lacerda-Santos JT, Firmino RT, Jiao R, Martins CC, Granville-Garcia AF, Vargas-Ferreira F. Occurrence of bruxism in individuals with autism spectrum disorder: A systematic review and meta-analysis. *Spec Care Dentist.* 2022 Sep;42(5):476–485. doi: 10.1111/scd.12707. Epub 2022 Mar 9. PMID: 35263459.
- Boscato N, Exposto F, Nascimento GG, Svensson P, Costa YM. Is bruxism associated with changes in neural pathways? A systematic review and meta-analysis of clinical studies using neurophysiological techniques. *Brain Imaging Behav.* 2022 Oct;16(5):2268–2280. doi: 10.1007/s11682-021-00601-w. Epub 2022 Jan 28. PMID: 35088353.
- Cid-Verdejo R, Chávez-Farías C, Martínez-Pozas O, Meléndez-Oliva E, Cuenca-Zaldivar JN, Ardizzone García I, Martínez-Orozco FJ, Sánchez-Romero EA. Instrumental assessment of sleep bruxism: A systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev.* 2024 Apr;74:101906. doi: 10.1016/j.smrv.2024.101906. Epub 2024 Jan 21. PMID: 38295573.
- Mortazavi N, Tabatabaei AH, Mohammadi M, Rajabi A. Is bruxism associated with temporomandibular joint disorders? A systematic review and meta-analysis. *Evid Based Dent.* 2023 Sep;24(3):144. doi: 10.1038/s41432-023-00911-6. Epub 2023 Jul 20. PMID: 37474733.
- Cheng Y, Yuan L, Ma L, Pang F, Qu X, Zhang A. Efficacy of botulinum-A for nocturnal bruxism pain and the occurrence of bruxism events: a meta-analysis and systematic review. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2022 Feb;60(2):174–182. doi: 10.1016/j.bjoms.2021.03.005. Epub 2021 Mar 24. PMID: 34955330.
- Polmann H, Réus JC, Massignan C, Serra-Negra JM, Dick BD, Flores-Mir C, Lavigne GJ, De Luca Canto G. Association between sleep bruxism and stress symptoms in adults: A systematic review and meta-analysis. *J Oral Rehabil.* 2021 May;48(5):621–631. doi: 10.1111/joor.13142. Epub 2021 Jan 28. PMID: 33377534.
- Błaszczuk B, Waliszewska-Prosoł M, Więckiewicz M, Poręba R, Niemiec P, Przegrzałek J, Martynowicz H. Sleep bruxism (SB) may be not associated with obstructive sleep apnea (OSA): A comprehensive assessment employing a systematic review and meta-analysis. *Sleep Med Rev.* 2024 Dec;78:101994. doi: 10.1016/j.smrv.2024.101994. Epub 2024 Aug 22. PMID: 39182463.

© Ярцева Александра Вадимовна (a.v.yartseva@gmail.com); Толстунев Леонид Григорьевич (leonid.tolstunov@mail.ru);

Чепик Екатерина Александровна (che.katya@mail.ru); Шаныгина Диана Владимировна (disha1disha@mail.ru);

Дыбова Екатерина Валерьевна (katerina_b@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

Aksenova S. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University» (Saransk, Russia)

Al-Dumaini Omar Ahmed Khazai Shaif — Graduate, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

Alekhina A. — PhD student, assistant, Siberian State University of Science and Technology

Alekseeva N. — PhD, Associate Professor, Donbass Agrarian Academy

Askerov M. — MD, Cardiovascular Surgeon, Department of Cardiac Surgery «Mariinsky Hospital», Saint Petersburg

Azizova D. — candidate of medical sciences, Kazan (Volga region) Federal University

Bier M. — Dentist-orthodontist, applicant, International Medical Association «BRICS Health University»

Boronina Yu. — graduate student, National Research Nuclear University MEPH

Bukur A. — clinical resident of the cardiac surgery department «Mariinsky Hospital»

Chepik E. — PhD in Medical sciences, Russian University of Medicine

Chernikov A. — postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «MSTU «STANKIN», Moscow

Danilov A. — Assistant, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Delovaya M. — PhD, Head of the Cardiology Department «Mariinsky Hospital»

Dolzhanov P. — Candidate of Veterinary Sciences, Donbass Agrarian Academy

Dybova E. — senior lecturer, Medical University «Reaviz»

Efendiev V. — PhD, Cardiovascular Surgeon, Head of the Cardiac Surgery Department «Mariinsky Hospital»

Elzhurkaeva L. — Candidate of Medical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Chechen State University named after A.A. Kadyrov»

Our authors

Galaktionova A. — Assistant, Kazan (Volga region) Federal University

Gazyga G. — PhD in Biology, Industrial Institute – Branch of Ugra State University, Nefteyugansk, Russian Federation

Gazyga N. — graduate student, Surgut State University

Gordeev-Burgwitz M. — Doctor of Engineering in German Classification, National Research Moscow State University of Civil Engineering (NRU MGSU)

Gultiaev A. — postgraduate student, National Research Nuclear University «MEPhI»

Kapralov S. — Doctor of Medicine Sciences, associate professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Kashikhin A. — Private University «Reaviz», Saint Petersburg, Russia

Khakimova Z. — PhD in Physics and Mathematics, Mozhaisky Military Space Academy

Khozina E. — Assistant Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University» (Saransk, Russia)

Khbulava G. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Cardiac Surgery Center «Mariinsky Hospital»

Kozhederov A. — Senior Lecturer, Industrial Institute – Branch of Ugra State University, Nefteyugansk, Russian Federation

Kuandykova D. — Resident, Kazan (Volga region) Federal University

Kukhareva A. — graduate student, Surgut State University

Kulagina D. — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Kumaksheva T. — Assistant Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University» (Saransk, Russia)

Maksimenko O. — graduate student, National Research Nuclear University MEPH

Maslyakov V. — Doctor of Medical Sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky; Doctor of Medical Sciences, Professor, Medical University «Reaviz», Saratov, Russia

Matveeva E. — candidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Far Eastern State Transport University

Mironenko O. — Senior lecturer, Donbass Agrarian Academy

Muraya E. — candidate of engineering sciences, associate professor, Natural Science Institute, Far Eastern State Transport University

Oshkin A. — postgraduate student, Moscow Financial and Law University (MFUA)

Osinkina T. — Ph.D. biol. Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State Medical University» of the Ministry of Health

Pavlov V. — candidate of economic sciences, Moscow Financial and Law University (MFUA)

Petrunkin R. — Private University «Reaviz», Saint Petersburg, Russia

Poletykin S. — Master's student, laboratory assistant at the research laboratory of «Machine Learning», Siberian State University of Science and Technology

Polidanov M. — research department specialist, assistant, University «Reaviz», Saint Petersburg, Russian Federation

Proskurin A. — Candidate of Technical Sciences, Siberian State University of Science and Technology

Romanov R. — PhD Student, National Research Nuclear University «MEPhI»

Rossolko D. — MD, PhD, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State Pediatric Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Shakhova E. — Ph.D. in Technology, Mozhaisky Military Space Academy

Shanigina D. — PhD in Medical sciences, Medical University «Reaviz»

Shchegolev A. — Applicant, JSC «NPC ASPECT» Dubna

Sukhanova A. — Candidate of Biological Sciences, senior researcher at the laboratory of «High Molecular Compounds», Siberian State University of Science and Technology

Syrtsov S. — Researcher at the laboratory of «High Molecular Compounds», Siberian State University of Science and Technology

Tolstunov L. — PhD in Medical sciences, Medical University «Reaviz»

Tukhova R. — Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State pediatric medical university» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Volkov K. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Vorobyov V. — graduate student, Siberian State University M.F. Reshetnev, (Krasnoyarsk, Russia)

Vasilyeva O. — MD, PhD Associate professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research Ogarev Mordovia State University» (Saransk, Russia); Ophthalmologist, Limited Liability Company «Dr. Kurenkov Clinic» (Moscow, Russia)

Yartseva A. — PhD in Medical sciences, Russian University of Medicine

Yuanov A. — Doctor of Medical Sciences, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакционная коллегия оставляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускаются.
- ◆ 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).