

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 8 2024 (АВГУСТ)

Учредитель журнала
Общество с ограниченной ответственностью
«НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Журнал издается с 2011 года.

Редакция:

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

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

Издатель:

Общество с ограниченной ответственностью
«Научные технологии»

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

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

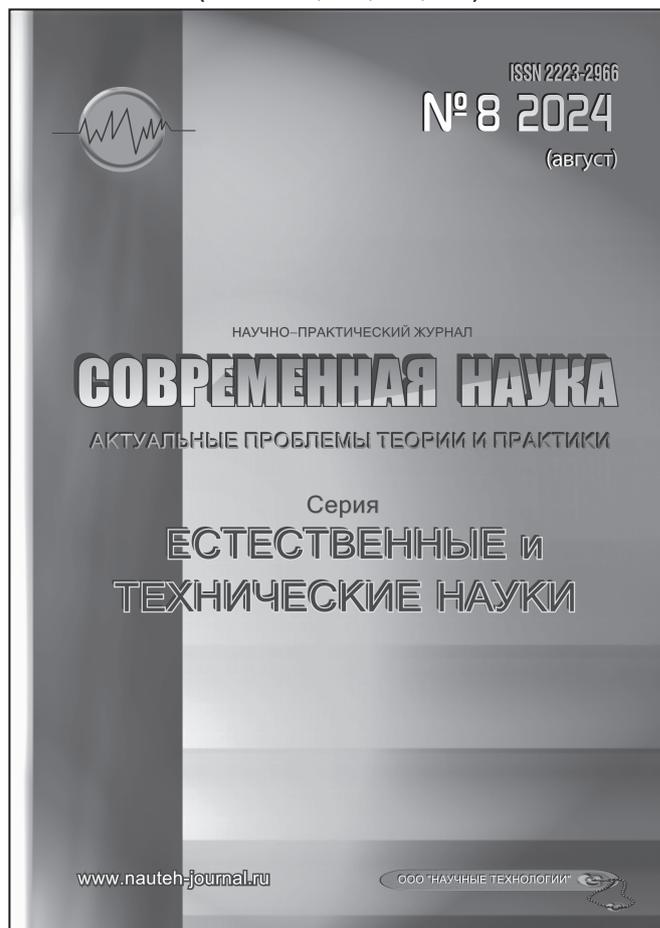
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

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

Научно-практический журнал

Scientific and practical journal

(ВАК — 1.1.2, 1.5.x, 2.3.x, 3.1.x)



В НОМЕРЕ:

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

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

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

Журнал отпечатан в типографии
ООО «КОПИ-ПРИНТ» тел./факс: (495) 973-8296
Подписано в печать 14.08.2024 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



Редакционный совет

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Общая биология

Бугеро Н.В., Титова А.А., Степанова С.С. — Определение d-димера в клинической лабораторной диагностике коронавирусной инфекции
Bugero N., Titova A., Stepanova S. — D-dimer determination in clinical laboratory diagnosis of coronavirus infection7

Важов С.В., Важов В.М., Черемисин А.А., Яськов М.И., Черданцева Е.В. — К изучению скопы *Pandion haliaetus* на Алтае
Vazhov S., Vazhov V., Cheremisin A., Yaskov M., Cherdantseva E. — To the study of the osprey *Pandion haliaetus* in Altai.14

Кулешов В.А., Кустов С.Ю. — Морфометрия и половой диморфизм некоторых мух-гиботид рода *platypalpus* (diptera, hybotidae)
Kuleshov V., Kustov S. — Morphometry and sexual dimorphism of several flies in the genus *platypalpus* (diptera, hybotidae)18

Оводков М.В., Ткачев М.А., Сухов В.В. — Проблемы учета фоновой добавки при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха
Ovodkov M., Tkachev M., Sukhov V. — The problem of accounting background additives during conducting of summary calculations and emission quotas.21

Сейфулина Г.В., Друп В.Д. — Физиологические и морфологические предикторы Адаптации студентов к учебной деятельности
Seifulina G., Drup V. — Physiological and morphological predictors adaptation of students to learning activities28

Сейфулина Г.В., Строй Г.В. — Физиологические и психолого-педагогические аспекты первичной профилактики употребления психоактивных веществ среди подростков
Seifulina G., Stroy G. — Physiological and psychological-pedagogical aspects primary prevention of substance use among teenagers33

Трунова С.А., Нурмагомедова С.Г., Мусинова Э.М., Рашкуева З.И., Мусалов Г.Ш. — Роль ветеринарии в сохранении биоразнообразия. Экологические вызовы

Trunova S., Nurmagomedova S., Musinova E., Rashkueva Z., Musalov G. — Veterinary role in the biodiversity conservation. environmental challenges40

Чудакова С.Е. — Первая находка и описание *Plioplatecarpini* (Squamata, Mosasauridae, Plioplatecarpinae) из верхнего мела Саратовской области, Россия
Chudakova S. — The first record and description of *Plioplatecarpini* (Squamata, Mosasauridae, Plioplatecarpinae) from the Upper Cretaceous of Saratov region, Russia44

Информатика, вычислительная техника и управление

Аксенов С.Г., Егорова О.В. — Теоретические основы управления организационными системами
Aksenov S., Egorova O. — Theoretical foundations of organizational systems management50

Аксенов С.Г., Шаймуратова Н.И. — Унифицированное математическое моделирование для организационного управления
Aksenov S., Shaimuratova N. — Unified mathematical modeling for organizational management56

Антоновская О.Г., Бесклубная А.В. — Построение математической модели синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором, использующей фазовые подпространства
Antonovskaya O., Besklubnaya A. — Construction of a Mathematical Model of a Frequency Synthesizer with a Pulsed Frequency-Phase Detector Using Phase Subspaces.61

Арванова С.М. — Перспективы применения высокоскоростных генераторов случайных чисел для аутентификации доступа и распределения ключей

- Arvanova S.* — Prospects of application of high-speed random number generators for access authentication and key distribution67
- Ахметов И.З.** — Сравнение классических методов численного решения дифференциальных уравнений с методом нейронных сетей
Akhmetov I. — Comparison of classical methods for numerical solution of differential equations with the neural network method71
- Булыгин И.М.** — Управление состоянием защищённости информации в высших учебных заведениях на основе его оценки
Bulygin I.M. — Management of the state of information security in higher educational institutions based on its assessment77
- Галиуллин И.Г., Тимершин Б.А.** — Вопросы достоверного физического и визуального моделирования сложных технических систем беспилотной сельскохозяйственной техники на базе трактора Беларус-3525
Galilulin I., Timershin B. — Issues of reliable physical and visual modeling of complex technical systems of unmanned agricultural machinery based on the tractor Belarus-352583
- Гуров А.В., Камилов Э.М.** — Использование техник репрезентативного обучения для решения прикладных и промышленных задач в области компьютерного зрения
Gurov A., Kamilov E. — Utilizing representation learning techniques for solving applied and industrial problems in computer vision88
- Каширин К.Д.** — Меры обеспечения информационной безопасности в сложных системах: интеграция современных цифровых технологий
Kashirin K. — Information security measures in complex systems: integration of modern digital technologies93
- Краснов А.Е., Чеканов И.Р., Лысцев К.С.** — Адаптация экспертной информационно-аналитической системы поддержки принятия решений в области информационной безопасности для нефтесервисных предприятий
Krasnov A., Chekanov I., Lyssev K. — Adaptation of an expert information and analytical decision support system in the field of information security for oilfield service enterprises.98
- Кубракова Е.А.** — Обзор современных техник ансамблирования в машинном обучении для повышения качества классификации
Kubrakova E. — Review on modern ensemble techniques in machine learning to improve the quality of classification 107
- Медведев А.А.** — Доменная адаптация детекторов объектов с применением модели учителя с подансамблями
Medvedev A. — Domain adaptation of object detectors using the teacher model with sub ensembles 113
- Митина О.А., Гушель В.О.** — Оценка эффективности применения фильтра Калмана к динамическим стохастическим моделям общего равновесия
Mitina O., Gushel V. — Evaluation of the efficiency of applying the Kalman filter to dynamic stochastic general equilibrium models. 119
- Прохоров Е.В., Дорофеев А.С.** — Разработка web-приложения для визуального проектирования схемы данных с возможностью выгрузки скрипта для создания таблиц
Prokhorov E., Dorofeev A. — Development of a web application for visual design of a data scheme with the possibility of uploading a script for creation of tables 124
- Рожков Д.А., Новоселова О.В.** — Исследование взаимосвязей между разделами технического задания, нормативной документацией и составом промышленных роботов
Rozhkov D., Novoselova O. — Investigation of the relationships between sections of the terms of reference, regulatory documentation, and the composition of industrial robots 130
- Тонких А.С., Авксентьева Е.Ю.** — Математическое моделирование столкновения облачной системы с угрозами кибербезопасности
Tonkikh A., Avksenteva E. — Mathematical modeling of a cloud system colliding with cybersecurity threats 135

- Цыганов А.Д.** — Методы процедурной генерации внутреннего трёхмерного окружения для иммерсивных сред
Tsyganov A. — The methods of procedural generation of internal 3d environment for immersive surrounding 140
- Чумакова А.А.** — Алгоритм внедрения автоматизированного тестирования ПО и переходу к Continuous Deployment
Chumakova A. — Algorithm for implementing automated software testing and transition to Continuous Deployment. 144
- Шарара Симбараше** — Математическая модель распределения концентрации летучих органических соединений при 3d-печати
Sharara Simbarashe — Mathematical model of the concentration distribution of volatile organic compounds in 3d printing 149
- Шунгаров Х.Д., Боташев Р.А.** — Оптимизация модели выбора варианта инвестиций в многопрофильном производстве
Shungarov H., Botashev R. — Optimization of the model for selecting investment options in multidisciplinary production. 153
- Клиническая медицина
- Абдулаева Р.Ш., Макиев Г.Г., Межекова Д.Ю., Чихарева Я.Е., Динаева Э.А., Базин И.С.** — Интраоперационная лучевая терапия в лечении рака поджелудочной железы
Abdulayeva R., Makiev G., Mezhekova D., Chikhareva Y., Dinaeva E., Bazin I. — Intraoperative radiotherapy in the treatment of pancreatic cancer. 158
- Ахмадишина К.И., Житко А.К., Житко Р.К.** — Применение силиконовых материалов в челюстно-лицевом протезировании
Akhmadishina K., Zhitko A., Zhitko R. — Silicone materials in maxillofacial prosthetics 163
- Беликова Е.В., Колесникова Т.А., Ташалиева М.Ф., Ирзаханова Т.М., Зияра Хасан Сабах Ибрахим, Дедкова С.И.** — Анализ гинекологического и акушерского анамнеза у беременных с железодефицитной анемией различных степеней тяжести
Belikova E., Kolesnikova T., Tashalieva M., Irzakhanova T., Ziyara Hassan Sabah Ibrahim, Dedkova S. — Analysis of gynecological and obstetric anamnesis in pregnant women with iron deficiency anemia of various degrees of severity 166
- Вокулова Ю.А., Жулев Е.Н., Янова Н.А., Вельмакина И.В.** — Результаты разработки алгоритма персонализированной методики определения показаний к применению мостовидных протезов
Vokulova Ju., Zhulev E., Yanova N., Velmakina I. — The results of the development of an algorithm for a personalized method for determining indications for the use of bridges. 172
- Гребенюк Я.Д., Жуков Д.И., Ким Э.А., Кокорева А.Ю.** — Передний внебрюшинный и задний трансфораминальный спондилодез при хирургическом лечении одноуровневого поражения межпозвонкового диска L5-S1 у пациентов с ожирением. Сравнительный анализ
Grebenyuk Ya., Zhukov D., Kim E., Kokoreva A. — Anterior extraperitoneal and posterior transforaminal spondylosis in the surgical treatment of single-level L5-S1 intervertebral disc lesions in obese patients. Comparative analysis 177
- Кисиева З.А.** — Методы ранней диагностики кори у детей
Kisieva Z. — Methods for early diagnosis of measles in children 183
- Полиданов М.А., Высоцкий Л.И., Гавруков Д.С., Капралов С.В., Барулина М.А., Волков К.А.** — Сравнение методов аллопластики передней брюшной стенки в эксперименте
Polidanov M., Vysotsky L., Gavrikov D., Kapralov S., Barulina M., Volkov K. — Comparison of methods of anterior abdominal wall alloplasty in the experiment. 186
- Рухляда Н.Н., Винникова С.В.** — Динамическое наблюдение за состоянием влагалищного и кишечного микробиома у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе
Ruhlyada N., Vinnikova S. — Dynamic monitoring of the state of the vaginal and intestinal microbiome in women with a history of undeveloped pregnancy 191

Самбурова К.М., Амхадова М.А., Сетдикова Г.Р. — Морфологическая оценка показателей репаративного остеогенеза при аугментации костнопластического материала <i>Samburova K., Amkhadova M., Setdikova G.</i> — Morphological assessment of indicators of reparative osteogenesis in bone augmentation 195	Шелегова И.Г., Нуриева Н.С., Важенина Д.А., Привалов А.В. — Исследование влияния пола и возраста на плотность нижней челюсти у онкологических пациентов <i>Shelegova I., Nurieva N., Vazhenina D., Privalov A.</i> — A study of the effect of gender and age on mandibular density in cancer patients..... 215
Чивиргина Т.В., Чернышева Е.Н., Магомедова М.Р. — МикроРНК в современной лабораторной диагностике: обзор литературы <i>Chivilgina T., Chernysheva E., Magomedova R.</i> — Icrornas in modern laboratory diagnostics: literature review 200	Щавинская А.В. — Значение характеристик микроструктуры перитуморозной зоны (PTZ) церебральных метастазов в их комплексном лечении <i>Shchavinskaya A.</i> — The significance of the microstructure characteristics of the cerebral metastases' peritumoral zone (PTZ) in their complex treatment 219
Шелегова И.Г., Нуриева Н.С., Привалов А.В., Важенина Д.А. — Исследование плотности нижней челюсти у онкологических пациентов <i>Shelegova I., Nurieva N., Privalov A., Vazhenina D.</i> — A study of mandibular density in cancer patients . 210	Наши авторы 227

ОПРЕДЕЛЕНИЕ D-ДИМЕРА В КЛИНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ КОРОНАВИРУСНОЙ ИНФЕКЦИИ

D-DIMER DETERMINATION IN CLINICAL LABORATORY DIAGNOSIS OF CORONAVIRUS INFECTION

**N. Bugero
A. Titova
S. Stepanova**

Summary. Increased D-dimer levels correlate with the severity of COVID-19, indicating microthrombosis and thrombosis activation. It is associated with worse prognosis, respiratory and multi-organ failure. Coagulogram analysis of patients with COVID-19 revealed increased D-dimer, fibrinogen, prolongation of prothrombin time (PT) and activated partial thromboplastin time (APTT), indicating coagulation abnormalities. D-dimer levels correlated with the severity of the disease and lung damage. A study of patients at the Pskov Infectious Disease Hospital confirmed the association of elevated D-dimer with COVID-19 severity and mortality. It was found that biochemical parameters of hemostasis in patients with COVID-19 demonstrate several significant patterns. Thus, according to the data of the conducted study, out of the total number of 99 examined persons, in 39 patients with severe course of the disease the level of D-dimer exceeded the reference values in 6.5 times, which indicates the development of pronounced disorders in the blood coagulation system in patients with unfavorable prognosis of the course of a new coronavirus infection. Analysis of the comorbid background in the examined patients revealed the presence of chronic diseases of various organs and systems, including cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory, diabetes mellitus, obesity, malignant tumors, chronic diseases of the hepatobiliary system and kidneys. Thus, D-dimer levels serve as a valuable prognostic marker of COVID-19 severity, allowing us to assess the risk of complications and poor outcome.

Keywords: COVID-19, comorbid pathologies, coagulation disorders, D-dimer.

Бугеро Нина Владимировна

доктор биологических наук, профессор,
Псковский государственный университет
bugero@mail.ru

Титова Анна Александровна

аспирант, Псковский государственный университет
titova.anna1907@yandex.ru

Степанова София Сергеевна

ординатор, Псковский государственный университет
sonya.stepanova06@yandex.ru

Аннотация. Повышенный уровень D-димера коррелирует с тяжестью COVID-19, указывая на микротромбообразование и активацию тромбоза. Это связано с ухудшением прогноза, респираторной и полиорганной недостаточностью. Анализ коагулограмм пациентов с COVID-19 выявил повышение D-димера, фибриногена, удлинение ПТВ и АЧТВ, свидетельствуя о коагуляционных нарушениях. Уровень D-димера коррелировал с тяжестью заболевания и поражением легких. Исследование пациентов Псковской инфекционной больницы подтвердило связь повышенного D-димера с тяжестью COVID-19 и летальным исходом. Установлено, что биохимические параметры гемостаза у пациентов с COVID-19 демонстрируют ряд значимых закономерностей. Так, по данным проведенного исследования, из общего числа 99 обследованных лиц у 39 больных с тяжелым течением заболевания уровень D-димера превышал референтные значения в 6,5 раза, что свидетельствует о развитии выраженных нарушений в системе свертывания крови у пациентов с неблагоприятным прогнозом течения новой коронавирусной инфекции. Анализ коморбидного фона у обследованных пациентов позволил выявить наличие хронических заболеваний различных органов и систем, включая сердечно-сосудистую, цереброваскулярную и дыхательную, сахарный диабет, ожирение, злокачественные опухоли, хронические заболевания гепатобилиарной системы и почек. Таким образом, уровень D-димера служит ценным прогностическим маркером тяжести COVID-19, позволяя оценить риск осложнений и неблагоприятного исхода.

Ключевые слова: COVID-19, коморбидные патологии, коагуляционные нарушения, D-димер.

Введение

D-димер — продукт распада фибрина, образующийся в результате фибринолиза. Его наличие в крови свидетельствует об активации системы свертывания крови и деградации фибрина [1]. Образование D-димера связано с активацией фибринолитической системы, в результате чего происходит разрушение фибриновых сгустков [2; 7]. В рамках COVID-19 D-димер можно рассматривать, как потенциальный показатель тяжести течения заболевания.

Исследование уровня D-димера является важным этапом в диагностике тромбозомболических осложне-

ний. Высокая чувствительность этого теста делает его необходимым инструментом в клинической практике. Однако, при интерпретации результатов необходимо учитывать возможные факторы, влияющие на уровень D-димера [3].

В современной лабораторной медицине активно ведутся разработки инновационных методических решений, базирующихся на применении моноклональных антител к D-димеру. Данный подход открывает новые горизонты в фундаментальном и прикладном исследовании ключевых механизмов гемостаза, в частности процессов коагуляции и фибринолиза. Использование высокоспецифичных моноклональных антител в анали-

тических методиках позволяет повысить информативность и точность количественной оценки содержания D-димера в биологических жидкостях. Внедрение в научно-исследовательскую практику методов, задействующих моноклональные антитела к D-димеру, открывает перспективные направления в исследовании системы гемостаза, в частности, коагуляционного звена и фибринолиза [4]. Точное измерение уровня растворимых фрагментов фибрина позволяет более эффективно диагностировать и контролировать различные состояния, связанные с нарушениями системы свертывания крови. Дальнейшие исследования в этой области могут способствовать внедрению новых методов диагностики и лечения таких патологий, как ВТЭ (венозная тромбоэмболия) и ДВС-синдром (синдрома диссеминированного внутрисосудистого свертывания) [3]. В случае ВТЭ измерение уровня D-димера позволяет оценить наличие тромбов и контролировать эффективность лечения антикоагулянтами. Повышенный уровень D-димера часто связывают с присутствием тромбов в системе кровообращения [5].

Концентрация D-димера зарекомендовала себя в качестве биохимического «золотого стандарта» при диагностическом обследовании пациентов с подозрением на венозную тромбоэмболию, что обусловлено ее высокой диагностической чувствительностью. Прикладное значение данного биомаркера заключается в том, что при его содержании в крови ниже определенного порогового значения, можно исключить наличие тромбоза с очень высокой точностью (более 98 %) [6].

D-димер представляет собой маркер, используемый для диагностики тромбозов и оценки активности тромбообразования в организме. В клинической практике этот важный биохимический маркер используется, по большей степени, для исключения диагноза ТГВ (тромбоз глубоких вен нижних конечностей).

COVID-19 может вызывать серьезные осложнения, среди которых ВТЭО занимают особое место. Исследования показали, что существует высокая корреляция между наличием инфекции SARS-CoV-2 и частотой венозных тромбоэмболических осложнений у пациентов. Это связано с множеством факторов, включая воспалительные процессы, гипоксию, гиперкоагуляцию и др. [8]. В связи с этим целью работы явилась оценка клинической значимости повышенного уровня D-димера для своевременного выявления ковид-ассоциированной коагулопатии и прогнозирования тяжести течения коронавирусной инфекции у пациентов, госпитализированных в «ковидное» отделение Псковской областной инфекционной клинической больницы.

Методы исследования

Для определения концентрации D-димера в биологических средах пациентов применялся автоматический

коагулометр «Sysmex CS-2000i» (производства Sysmex Corporation, Япония) с использованием метода иммунотурбидиметрического анализа. Объектом исследования выступала плазма крови, забор которой производился непосредственно в день проведения лабораторного тестирования.

Регистрация и обработка данных проводилась с помощью программы Microsoft Office Excel 2019. Статистическая обработка производилась с использованием программы StatTech. Для сравнения пар групп, при соответствии распределения нормальному закону проверялось равенство дисперсий выборок с помощью F-теста, при равенстве последних оценку различий количественных показателей между исследуемыми группами проводили с использованием t-критерия Стьюдента, при различии — с использованием t-критерия с поправкой Уэлча. При оценке распределений отличных от нормального закона использовался критерий Манна-Уитни. В случае сравнения трех и более групп при соответствии характера распределения исследуемых показателей закону нормального распределения применялся дисперсионный анализ. В ситуациях, когда распределение отличалось от нормального, использовался непараметрический критерий Краскела-Уоллиса с последующим вычислением поправленных r-значений по методу Данна с коррекцией Бонферрони. Анализ взаимосвязей между параметрами осуществлялся с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

Для сбора венозной крови использовали пробирки с цитратом Na_3 (10^9 ммоль/л или 3,2 %) в соотношении 9 частей крови и одна часть антикоагулянта, что обеспечивало надлежащие условия для проведения исследований [2].

Результаты и обсуждение

В рамках настоящего исследования нами был осуществлен всесторонний анализ накопленных данных относительно диагностической ценности определения концентрации D-димера в крови для прогнозирования тяжести течения коронавирусной инфекции COVID-19 на основании данных, представленных в научной литературе, а также результатов клинической практики. Было изучено 99 медицинских карт пациентов, госпитализированных в «ковидное» отделение Псковской областной инфекционной больницы г. Пскова, у которых был подтвержденный диагноз «Коронавирусная инфекция, COVID-19». Среди этих пациентов — 60 женщин и 39 мужчин. Возраст пациентов варьировал от 32 до 96 лет. Средний возраст составил 71 год.

У всех исследованных пациентов были те или иные сопутствующие хронические заболевания. Анализ клинических проявлений у пациентов с COVID-19 демонстри-

рует определенные закономерности. Так, по данным проведенного исследования, повышение температуры тела отмечалось у 70 % обследованных лиц, боли в грудной клетке — у 15 %. Среди других типичных симптомов инфекции фиксировались одышка (60 % случаев), а также кашель и боль в горле (в 71 % наблюдений). У 10 % пациентов было зарегистрировано полное отсутствие обоняния. Полученные результаты свидетельствуют о гетерогенности клинической картины COVID-19.

Исследование показателей гемостаза у пациентов, инфицированных SARS-CoV-2, выявило ряд характерных нарушений. В частности, при анализе коагулограмм обследованных лиц отмечалось значительное повышение концентрации D-димера, что свидетельствует о системной активации процессов тромбообразования. Среднее значение данного биомаркера составило 4,2 мг/л. Полученные данные демонстрируют расстройства в системе гемостаза у больных COVID-19, которые проявляются выраженной гиперкоагуляцией. Подобные изменения создают предпосылки для развития тромбоэмболических осложнений, ухудшающих прогноз заболевания и увеличивающих риск летальных исходов.

Исследование показателей системы гемостаза у пациентов с COVID-19 выявило ряд отклонений, отражающих системную активацию процессов коагуляции. Было зарегистрировано повышение уровня фибриногена до 4 г/л, что указывает на усиленный синтез и отложение фибрина в сосудистом русле. Одновременно с этим отмечалось удлинение показателей, характеризующих внутренний и внешний пути свертывания крови. Активированное частичное тромбопластиновое время (АЧТВ) достигало 41,6 (24–54) секунд, а протромбиновое время увеличивалось до 12 (10–19) секунд. Данные изменения свидетельствуют о нарушениях в функционировании ключевых механизмов гемокоагуляции.

Изменения в лейкоцитарной формуле, в частности повышение абсолютного числа лимфоцитов до 30 % (21–57 %), отражают характерную для COVID-19 лимфопению. Повышенный уровень тромбоцитов — 211 (167–340)·10⁹/л, указывает на активацию тромбоцитарного звена гемостаза. Значительное повышение СОЭ до 30,9 мм/ч (10–49,9 мм/ч) свидетельствует о наличии активного воспалительного процесса.

Уровни маркеров воспаления — С-реактивного белка (СРБ), ферритина и лактатдегидрогеназы (ЛДГ) — существенно превышали референсные значения, что подтверждает наличие выраженного системного воспаления у пациентов с COVID-19. Средний уровень СРБ составил 58,4 мг/л (0,4–239 мг/л), ферритина — 569 мкг/л (487–1197 мкг/л), ЛДГ — 639 ЕД/л (109–768 ЕД/л).

В рамках лечения пациентов на госпитальном этапе компонентом терапевтической программы являлась

анти тромботическая профилактика. Все больные, включенные в исследование, получали низкомолекулярные гепарины, направленные на предотвращение развития тромботических осложнений. Использование антикоагулянтной терапии у данной категории пациентов обусловлено высоким риском формирования тромбозов различной локализации, ассоциированным с выраженными нарушениями в системе гемостаза при COVID-19. Применение низкомолекулярных гепаринов создает предпосылки для снижения вероятности возникновения жизнеугрожающих тромбоэмболических событий, включая тромбоз глубоких вен, тромбоэмболию легочной артерии, ишемические инсульты и др.

В результате проведенного исследования было получено, что сопутствующая патология пациентов включала в себя сахарный диабет 2 типа зарегистрированный у 26 (26 %) пациентов, анемию — у 31 (31 %) пациента, онкологическую патологию — у 14 (14 %) пациентов, гипертоническую болезнь — у 91 (92 %) пациентов, ОНМК в анамнезе — у 7 (7 %) пациентов, ХОБЛ — у 7 (7 %) пациентов, неврологические расстройства — у 12 (12 %) пациентов, хроническую болезнь почек — у 8 (8 %) пациентов, ожирение — у 14 (14 %) пациентов, синдром хронической сердечной недостаточности — у 44 (44 %) пациентов, ишемическую болезнь сердца — у 67 (68 %) пациентов, хроническую никотиновую интоксикацию — у 54 (55 %) пациентов, заболевания гепатобилиарной системы — у 12 (12 %) больных.

Гипертоническая болезнь I стадии не была зарегистрирована ни у одного пациента, гипертоническая болезнь II стадии определялась у 50 (51 %) пациентов, III стадии — у 41 (41 %). Оценка риска сердечно-сосудистых осложнений (риск ССО), рассчитанная по SCORE, была: риск ССО 0 у 8 (8 %) пациентов, риск ССО 1 и риск ССО 2 не был выявлен ни у одного пациента, риск ССО 3 — у 34 (34 %) пациентов, риск ССО 4 — у 57 (58 %) пациентов. При этом только у одного пациента без гипертонической болезни риск ССО отличался от 0 (курящая женщина 64 лет с гиперхолестеринемией), и только у 1 пациента с гипертонической болезнью II стадии был риск ССО 0 (некурящий мужчина 36 лет с достигнутой нормотонией на терапии с нормальным липидным спектром).

Среди обследованных пациентов ХСН не была диагностирована у 4 (4 %) лиц. Ни у одного пациента не была выявлена ХСН I стадии. Распределение пациентов по стадиям ХСН было следующим: ХСН IIa стадии: 36 пациентов (36 %); ХСН IIb стадии: 59 пациентов (60 %).

Таким образом, в данной выборке преобладали пациенты с ХСН II стадии, что свидетельствует о наличии умеренной степени сердечной недостаточности у большинства обследованных лиц.

Группа была разделена на 3 подгруппы в зависимости от тяжести течения COVID-19: течение лёгкой степени тяжести, средней степени тяжести и тяжёлое течение. Между подгруппами в половозрастных характеристиках и сопутствующей соматической патологии выявлены статистически-значимые отличия в распространенности сахарного диабета 2 типа, онкологических заболеваний, хронической обструктивной болезни лёгких (ХОБЛ), заболеваний гепатобилиарной системы и курения (Таблица 1).

Таблица 1.

Распространенность сопутствующей патологии пациентов в зависимости от течения COVID-19

Параметр	COVID-19 лёгкой степени тяжести (n = 24)	COVID-19 средней степени тяжести (n = 36)	COVID-19 тяжёлой степени тяжести (n = 39)	p-уровень значимости
Пол (мужской)	7 (29 %)	16 (44 %)	16 (41 %)	p = 0.410
Возраст, лет	71 [65; 78]	70 [63; 78]	74 [56; 82]	p = 0.765
Сахарный диабет 2 типа	3 (12 %)	6 (17 %)	17 (44 %)	p = 0.005
Анемия	7 (29 %)	10 (28 %)	14 (36 %)	p = 0.744
Онкологические заболевания	1 (4 %)	5 (14 %)	8 (21 %)	p = 0.044
ОНМК	2 (8 %)	2 (6 %)	3 (8 %)	p = 0.856
ХОБЛ	0 (0 %)	3 (8 %)	4 (10 %)	p = 0.023
Неврологические расстройства	3 (12 %)	4 (11 %)	5 (13 %)	p = 0.966
Хроническая болезнь почек	2 (8 %)	4 (11 %)	2 (5 %)	p = 0.563
Заболевания гепатобилиарной системы	0 (0 %)	3 (8 %)	9 (23 %)	p < 0.001
ИБС	11 (46 %)	24 (67 %)	32 (82 %)	p = 0.070
Курение	3 (12 %)	20 (56 %)	31 (79 %)	p < 0.001

Таким образом, пациенты с лёгким течением коронавирусной инфекции имели лучший коморбидный профиль по вышеописанным заболеваниям. Пациенты с тяжёлой формой инфекции по сравнению с пациентами с лёгким течением COVID-19 достоверно чаще имели сахарный диабет 2 типа (17 (44 %) vs 3 (12 %) соответственно), ХОБЛ (4 (10 %) vs 0 (0%) соответственно), сопутствующую онкологическую патологию (8 (21 %) vs 1 (4 %) соответственно), заболевания гепатобилиарной системы (9 (23 %) vs 0 (0 %) соответственно), а также статистически чаще являлись курильщиками (31 (79 %) vs 3 (12 %) (Рис. 1).

Следующим этапом исследования явился анализ взаимосвязи между концентрацией циркулирующего

в крови D-димера и развитием тромбоэмболических осложнений у пациентов, инфицированных SARS-CoV-2. Известно, что повышение уровня D-димера является маркером активации процессов внутрисосудистого свертывания крови и последующего фибринолиза. Следовательно, выявление взаимосвязи между данным биомаркером и частотой возникновения тромбоэмболических осложнений может служить основанием для разработки алгоритмов прогнозирования и профилактики данных состояний.

Концентрация D-димера в сыворотке крови является многофакторно обусловленным показателем, на который оказывают влияние различные патологические процессы. Несмотря на комплексность детерминант, определяющих уровень биомаркера, он сохраняет свою значимость в качестве предиктора риска развития венозных тромбоэмболических осложнений (ВТЭО) и диссеминированного внутрисосудистого свертывания (ДВС-синдрома) у пациентов исследуемой группы: медианная концентрация D-димера у пациентов без развития ВТЭО составила 1.7 [0.7; 3.1] мкг/мл, в то время как у пациентов с ВТЭО данный показатель был в 3.7 раз выше — 6.3 [4.5; 8.8] мкг/мл (p < 0.001). Схожие различия получены и для пациентов без и с развитием ДВС-синдрома: 1.6 [0.7; 3.0] и 6.3 [4.8; 10.9] мкг/мл соответственно. Пациенты с развитием ДВС-синдрома во время госпитализации имели уровень D-димера при поступлении в 3.9 раз выше (p 0.001), чем у пациентов без осложнения (Рис. 2).

В рамках оценки прогностической значимости D-димера у госпитализированных пациентов были построены характеристические кривые (ROC-кривые), позволяющие определить оптимальную чувствительность и специфичность биомаркера в отношении развития тромбоэмболических осложнений и ДВС-синдрома. Анализ ROC-кривых, полученных на основании концентраций D-димера, определяемых при поступлении пациентов в стационар, создает возможность для выявления пороговых значений, наиболее точно предсказывающих вероятность возникновения суррогатных конечных точек (Рис. 3).

Концентрация D-димера при поступлении 5 мкг/мл и выше имеет специфичность 84.42 % в отношении развития ДВС-синдрома при чувствительности в 72.73 % и специфичность 81.01 % в отношении развития ВТЭО при чувствительности в 65.00 %.

Уровень D-димера при поступлении и в динамическом наблюдении сохранял положительную корреляцию с развитием ОРДСВ у исследуемых пациентов: при поступлении отмечалась положительная заметная корреляционная связь (rs = 0.65, p < 0.001), в то время как при динамическом наблюдении — положительная высокая связь (rs = 0.71, p < 0.001) (Рис. 4).

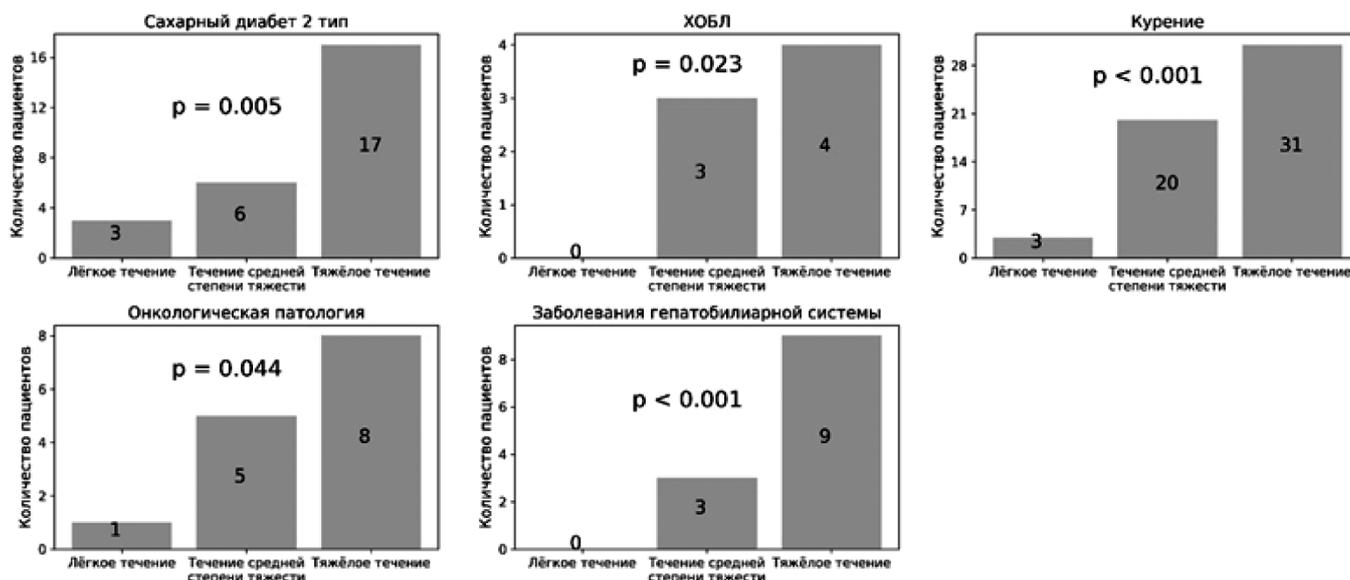


Рис. 1. Статистически-значимые различия в профиле сопутствующей патологии у пациентов с лёгким, средней тяжести и тяжёлым течением инфекции

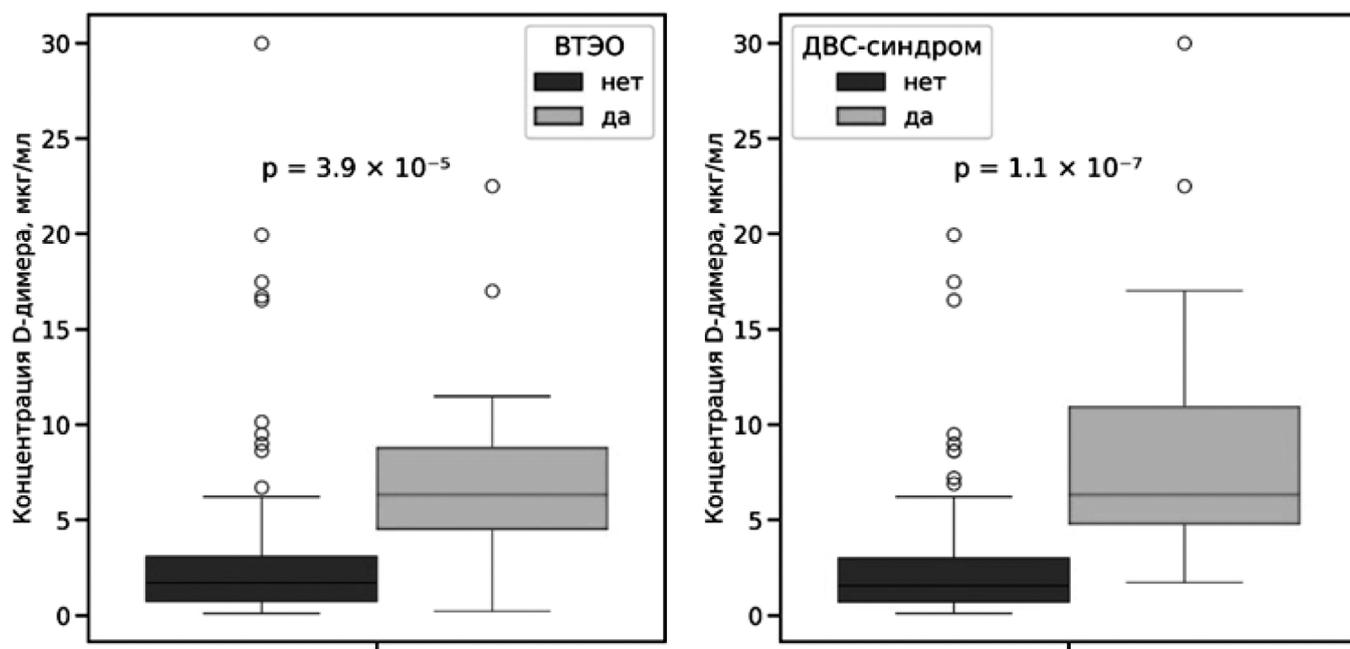


Рис. 2. Статистически значимая связь между высоким уровнем D-димера и развитием VTЭ и ДВС-синдрома

Заключение

Проведенный анализ медицинских карт пациентов Псковской инфекционной больницы подтвердил литературные данные о взаимосвязи повышенных значений D-димера в острый период заболевания COVID-19 с исходами заболевания, такими как общая выживаемость и смертность. Эта корреляция свидетельствует о том, что уровень D-димера является прогностическим маркером тяжести COVID-19, а также имеет прогностическое значение в отношении исходов заболевания. Повышенный D-димер, отражающий системную активацию гемостаза и воспаления, ассоциирован с повышенным риском не-

благоприятных исходов у пациентов с COVID-19. Среди 99 пациентов с тяжелой формой заболевания, у 39 человек (39 %) отмечено многократное превышение нормы показателя D-димера — достигнуто 6,5-кратное увеличение концентрации биомаркера.

Исследование пациентов, перенесших COVID-19, выявило высокую распространенность коморбидных патологий, включая сердечно-сосудистые заболевания, сахарный диабет 2 типа, ХОБЛ, онкологические заболевания и болезни гепатобилиарной системы. Анализ показателей гемостаза показал существенные нарушения у всех обследованных пациентов. Уровни D-димера,

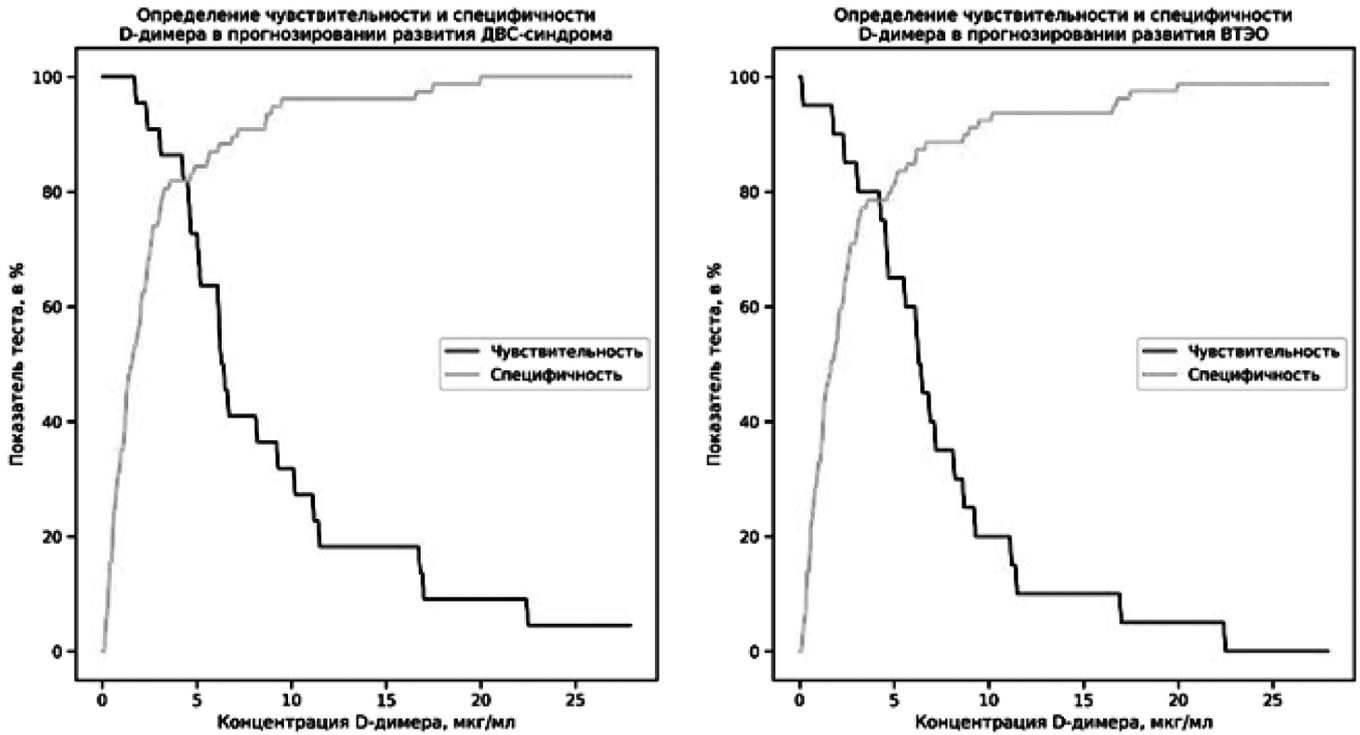


Рис. 3. Графики чувствительности и специфичности D-димера, забранного при поступлении в развитии ВТЭО и ДВС-синдрома

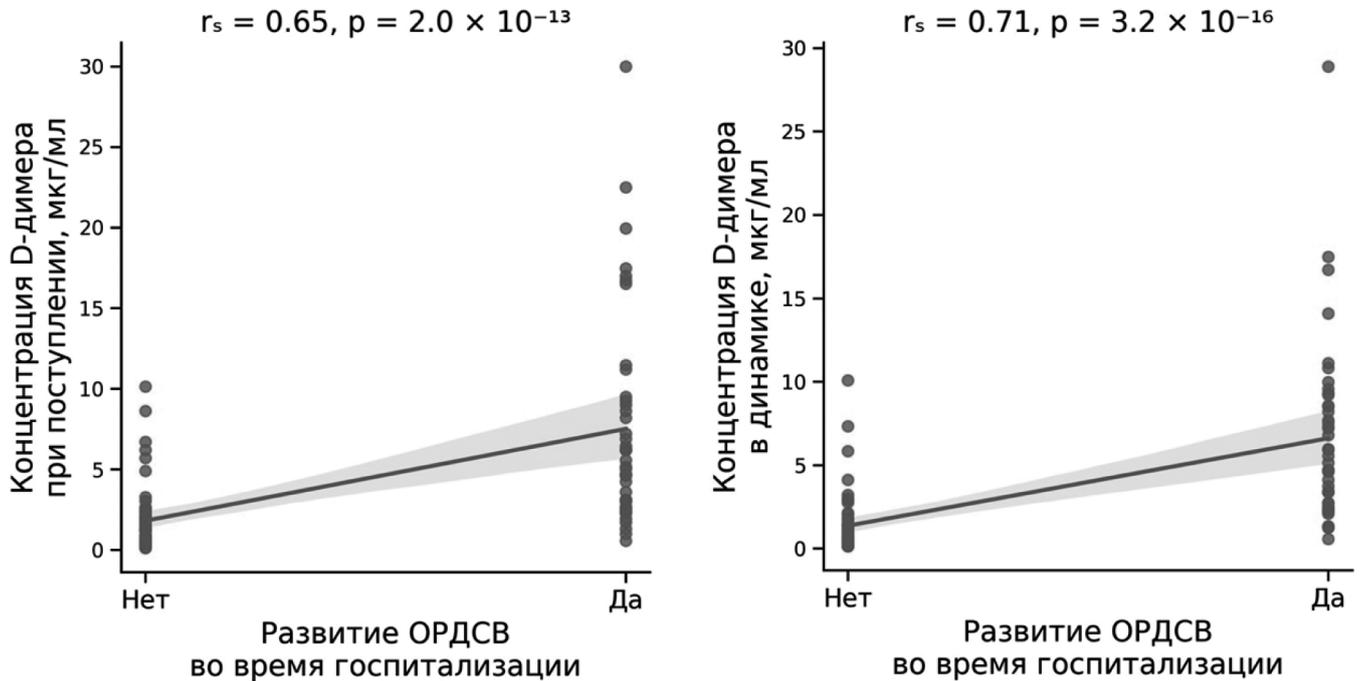


Рис. 4. Корреляционные связи концентрации D-димера с развитием ОРДСВ у пациентов

фибриногена, ПТВ, АЧТВ и МНО были повышены, что свидетельствует о гиперкоагуляции и риске тромбообразования. На основе нарушений гемостаза пациенты были разделены на три группы: с легким, умеренным и тяжелым течением COVID-19. Выраженность нарушений коагулограммы коррелировала со степенью тяжести заболевания.

Установлена корреляционная связь между концентрацией D-димера и степенью тяжести коронавирусной инфекции ($r_s = 0.66, p < 0.001$), что свидетельствует о тесной взаимосвязи нарушений в системе гемостаза и выраженности патологического процесса.

Благодарности. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юпатов В.Д., Пономарева Е.Ю. COVID-19-ассоциированная коагулопатия: патогенетические особенности и практические аспекты диагностики и лечения (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. 2021. №4.
2. Зубаиров Д.М. Молекулярные основы свертывания крови и тромбообразования // Казань: «ФЭН», 2000 — 364 с.
3. А.Д. Муканова, А.Д. Муканова, А.А. Ерекеш, Б.Т. Дауыт, Э.С. Хан, Д.Д. Чалабаева. D-димер — потенциальный биомаркер тяжести COVID-19 // Казахский Национальный медицинский университет имени С. Д. Асфендиярова, №5(231), 2021.
4. Васильев С.А., Виноградов В.Л., Берковский А.Л., Маркова М.Л. D-димер — диагностический и прогностический маркер тромботических заболеваний // Геморрагические диатезы, тромбозы, тромбофилии. Киров: Аверс, 2014. С. 15–27.
5. Папаян, Л.П., Князева Е.С. D-димер в клинической практике // Папаян, Л.П., Князева Е.С. М.: ООО «Инсайт полиграфика», 2011. — 20 с.
6. Орадова А.Ш., Турсынова С.К., Канжигалина З.К., Касенова Р.К. Исследование D-димера в клинико-диагностической лаборатории // Вестник КазНМУ, 2014. №2 (2).
7. Swystun L.L., Liaw P.C. The role of leukocytes in thrombosis // Blood, The Journal of the American Society of Hematology. — 2016. — Т. 128. — №. 6. — С. 753–762.
8. Robert-Ebadi H., Righini M. Diagnosis, and management of pulmonary embolism in the elderly // European journal of internal medicine. — 2014. — Т. 25. — №. 4. — С. 343–349.

© Бугеро Нина Владимировна (bugero@mail.ru); Титова Анна Александровна (titova.anna1907@yandex.ru);
Степанова София Сергеевна (sonya.stepanova06@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

К ИЗУЧЕНИЮ СКОПЫ PANDION HALIAETUS НА АЛТАЕ

TO THE STUDY OF THE OSPREY PANDION HALIAETUS IN ALTAI

S. Vazhov
V. Vazhov
A. Cheremisin
M. Yaskov
E. Cherdantseva

Summary. The purpose of this work is to summarize the author's and literary information about the distribution, abundance, and ecology of osprey in the Altai Territory and the Altai Republic. In the Altai Territory, the osprey is characterized as an endangered species, in the Altai Republic it is a rare species, listed in the federal and regional Red Books. The scientific novelty and practical significance of the work lies in replenishing the data bank on osprey in Altai, which can be used to improve measures to protect biodiversity.

Keywords: Altai Territory, Altai Republic, osprey, distribution, nesting, threats to the population.

Важов Сергей Викторович

кандидат биологических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический
университет», г. Барнаул

Важов Виктор Маркович

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический
университет», г. Барнаул
vazhov49@mail.ru

Черемисин Алексей Александрович

кандидат географических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Запалярный государственный университет
им. Н.М. Федоровского», г. Норильск

Яськов Михаил Иванович

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ
ВО «Горно-Алтайский государственный университет»

Черданцева Елена Владимировна

ФГБОУ ВО «Алтайский государственный педагогический
университет», г. Барнаул

Аннотация. Цель данной работы состоит в обобщении авторских и литературных сведений о распространении, численности и экологии скопы в Алтайском крае и Республике Алтай. В Алтайском крае скопа характеризуется как вид, находящийся под угрозой исчезновения, в Республике Алтай — редкий вид, занесена в федеральную и региональную Красные книги. Научная новизна и практическая значимость работы состоит в пополнении банка данных о скопе на Алтае, что может быть использовано в совершенствовании мероприятий по охране биоразнообразия.

Ключевые слова: Алтайский край, Республике Алтай, скопа, распространение, гнездование, угрозы популяции.

Введение

Под Алтаем понимается территория Алтайского края (168 тыс. км²) и Республики Алтай (92,6 тыс. км²), имевшей статус Горно-Алтайской автономной области в составе Алтайского края РСФСР до 1991 года в нынешних границах [1].

Скопа в Алтайском крае характеризуется как вид, находящийся под угрозой исчезновения [2], в Республике Алтай — редкий вид [3]. Занесена в Красные книги РФ [4], Алтайского края [5], Республики Алтай [6].

Научная новизна и практическая значимость работы состоит в пополнении банка данных о скопе на Алтае, что может быть использовано в совершенствовании мероприятий по охране биоразнообразия.

Цель исследования: обобщение авторских и литературных данных о распространении численности и экологии скопы на территории Алтая.

Материал и методы исследования

Работы по изучению скопы проводились в период с 2005 по 2023 гг. на основе общепринятых методик [7, 8, 9]. В статье обобщены результаты собственных исследований, а также доступные литературные и информационные ресурсы. При обобщении материала использовались такие методы как абстрагирование, анализ и синтез научной информации.

Результаты и их обсуждение

На основе обобщения данных, приводимых А.П. Кучиным [10], известно, что в 60–80 годы в Алтайском крае скопа гнездилась на территории лесной поймы Оби, характеризовалась как очень редкий вид в колках и ленточных борах. Приводится случай регистрации скопы в гнездовое время — 15 мая 1971 на оз. Уткуль.

На территории Угловского и Михайловского районов скопа наблюдалась дважды: весной 2006 года вблизи

оз. Ляпуниха и в сентябре 2006 года у оз. Нагибино [11]. Эта птица отмечена в Советском районе по р. Сетовочке между горами Бабырган (1008 м) и Гладкая (572 м) близи большого пруда в июне, июле и августе 2007 года, а также 6 и 22 июня 2008 [12]. Во всех случаях удалось наблюдать одиночную птицу, поэтому гнездование скопы в этом месте представлялось нам весьма сомнительным, мы сочли её за летующую холостую особь и целенаправленный поиск гнезда не предпринимали (С.В. Важов, не опубликованные данные). Однако позднее выяснилось, что на этом пруду скопа регулярно отмечалась в гнездовое время задолго до наших наблюдений. В.М. Важов (личн. сообщ.) ежегодно наблюдал здесь скопу с 1983 по 1990-е гг. Несколько лет подряд в 1980-х годах видел её летом в этом месте также И.С. Банников (В.М. Важов, личн. сообщ.). Эти наблюдения позволяют говорить о том, что ранее скопа, скорее всего, гнездилась здесь, причём длительное время.

В 2016 году 18 апреля скопу обнаружила и сфотографировала Яна Плешкова всего в 16,5 км к югу от этого места на р. Катунь, о чём она сообщила в интернет-ресурсах. Возможно, это была пролётная птица, но нельзя исключить, что скопа по-прежнему гнездится в этом районе, т. к. к местам гнездования на Алтае скопы прилетают во второй половине апреля [21, 22].

В конце сентября — октябре 2012 года эта птица отмечалась в Лифляндском заказнике в Третьяковском районе в устье Алея [13].

По данным О.Я. Гармса [14] скопа входила в список птиц города Барнаула и его окрестностей в пределах современного административного Барнаульского округа по состоянию на 1 января 2017.

Скопа наблюдалась нами в пойме Бии близ с. Стан-Бехтемир 28 апреля 2018 и в пойме Оби в Кислухинском заказнике 06 сентября 2019.

Согласно данным об авифенологии птиц, представленных А.Л. Эбелем, весной 2023 года скопу видели 22 апреля в Третьяковском районе (наблюдатель П. Голяков) и 24 апреля две скопы отмечены в Смоленском районе (наблюдатель М. Новичков).

В Республике Алтай жилые гнёзда этой птицы были найдены в июне 1972 года в долине р. Чулышман в урочище Мештуайры, а также 4 мая 1986 в её нижнем течении [15]. В долине Чуи 3 июня 2012 на 809-м км Чуйского тракта учтена взрослая особь, пролетевшая вверх по реке [16].

Скопа отмечена на Улаганском плоскогорье на оз. Саеду-Коль 20 апреля 1999 и 1 мая 2000. На оз. Чейбек-Коль встретили одну особь 24 июня 1999. На оз. Поло-

винкино видели скопу с двумя молодыми 26 августа 2000 [10].

В Центральном Алтае скопа крайне редкая гнездящаяся перелётная птица, наблюдается в период сезонных кочевок [17, 18, 19]. По обобщённым А.П. Кучиным [10] данным, на Теньгинском озере видели скоп 29–31 мая 1982, 2 июля 1978, 14 и 15 июля 1974, 10 августа и 1 сентября 1982, а также 2 сентября 1979. Охотящуюся птицу наблюдали в среднем течении Бии у с. Лебяжье 29 июля 1989. Видели эту птицу на оз. Таймень 9 августа 1988. Две скопы кружили 21 августа 1980 над долиной Верхнего Карагана.

На юго-восточном берегу оз. Таймень в Катунском заповеднике в первой декаде июля 2018 года найдено жилое гнездо скопы с 2-мя птенцами, взрослые птицы находились поблизости [20].

Скопа наблюдалась ежегодно в течение 18 лет, начиная с 2000 года на Яйлинской террасе северного побережья Телецкого озера, отмечена здесь также с 22 ноября 2017 по 8 ноября 2018 [21].

Основное место гнездования скопы в Республике Алтай приурочено к береговой линии Телецкого озера. За период с 1986 по 2016 гг. О.Б. Митрофановым [22] на озере установлено 123 гнездовых постройки скопы, из них жилыми были 116; зарегистрировано 29 выводков.

Представляет интерес историческая сводка о наблюдениях скопы, как одного из модельных видов орнитофауны Телецкого озера, составленная О.Б. Митрофановым [22] на основе обобщения литературных и фондовых данных, а также собственных исследований с 1987 по 2016 гг. В частности, в сводке указывается на то, что первое наблюдение скопы на Телецком озере относится к 1908 году, когда 16 апреля К. Вахе встретил эту птицу на водоёме в устье р. Чулышман. Затем П.П. Сушкин 14–16 июля 1912, а также в июле и августе 1935 года отметил пребывание скопы и описал жилое гнездо у северного берега Телецкого озера. В 1948 году Г.Д. Дулькейт зарегистрировал на озере три жилых гнезда. В.А. Стахеев в 80-е годы XX-го столетия указывал на ежегодное гнездование 2-х пар скоп на водоёме в Камгинском и Кыгинском заливах.

К концу XX века на Телецком озере наблюдалось увеличение количества жилых гнёзд и в 1996 году их число достигло максимума — 10, чему способствовало кратковременное снижение антропогенного воздействия на водоём и его берега в комплексе с низкой гнездопригодностью территории [22]. С 1998 года отмечается последовательное уменьшение жилых построек скоп на озере (до 3-х в 2016 г.) по причине возросшего

беспокойства на гнездовых участках, низкой культуры рекреационного природопользования и практически бесконтрольного сетевого вылова рыбы. Как результат, впервые за полвека, с 1967 года, когда был восстановлен Алтайский заповедник, в 2012 и 2014 гг. в нём зарегистрировано всего по одному жилому гнезду скопы, а в 2016 г. их в заповеднике не было вовсе [22].

Таким образом, неконтролируемая антропогенная нагрузка береговой части Алтайского заповедника привела к отрицательной динамике гнездования скопы (табл. 1).

Начало прилёта скопы на Алтай совпадает с вскрытием водоёмов. В ранние и дружные весны (1975, 1978) скопа появлялась в Северо-Восточном Алтае в первой декаде апреля, а в годы с холодной и затяжной весной (1973, 1977, 1979) отмечалась в третьей декаде апреля или даже в первых числах мая. В бассейне р. Лебедь эту птицу встречали в ранние вёсны 1 мая 1994 и 3 мая 1998. В Центральном Алтае в Уймонской долине в раннюю весну первое появление скопы наблюдалось 7 апреля 1983 ещё до начала ледохода на Катунь [10].

Таблица 1.
Количество гнёзд и их занятость скопой *Pandion haliaetus* на Телецком озере в 1948–2016 гг.
[по О.Б. Митрофанову [22]]

Год	Количество гнездовых построек		
	всего	в т. ч. жилых	из них в заповеднике
1948	3	3	не указано
1972–1979	2	2	2
1986	4	4	3
1990	5	5	4
1992	9	8	4
1994	10	9	5
1996	12	10	5
1998	11	9	3
2000	7	5	3
2002	5	4	2
2005	4	4	2
2007	5	5	2
2010	5	5	2
2012	5	5	1
2014	4	4	1
2016	4	3	0

На Телецкое озеро скопа прилетает в среднем 22 апреля [22]. В южной части водоёма в заливе Кыга первая птица была отмечена в ранние и теплые вёсны 9 апреля 1968, 14 апреля 1975, а в холодные и затяж-

ные — 19 апреля 1969, 20 апреля 1974. Озеро к этому времени еще не вскрылось, скопа несколько дней охотилась на кромке озера, где растаял лёд. В 1971 году открытая вода в южной части Телецкого озера появилась 18 апреля, однако скопу Н.П. Смирнов видел несколько раз еще до этой даты. Первые птицы учтены в северной части озера в 1970–1971 гг. — 5 апреля, в 1973–1979 гг. — 3 мая, 20, 7, 15, 22, 3 и 24 апреля [12].

По данным О.Б. Митрофанова [22], из 116 известных жилых гнёзд на Телецком озере и на сопредельных территориях, гнездовые постройки были размещены следующим образом: пять (4 %) — на сухих стволах со сломанной вершиной, 21 (18 %) — на сосне обыкновенной (*Pinus silvestris*) с флагообразной кроной и большинство (78 %) — на сосне сибирской (*Pinus sibirica*) со сломанной вершиной.

Старую гнездовую постройку скопы находили на крупной лиственнице без вершины на опушке леса в 0,5 км от Теньгинского озера, а в верховьях Большого Абакана наблюдали гнездо на вершине сухого кедра [10].

На Телецком озере в Камгинском заливе первые встречи скопы на гнёздах произошли 29 апреля 1979 и 6 мая 1977. При осмотре гнездовых сооружений установлено, что одна из взрослых птиц обычно насиживала, а другая держалась около гнезда. Птенцы в гнёздах находились до середины августа [15].

Гнездование скопы установлено в верховье р. Лебедь в июле 1976 года. На оз. Половинкино на Улаганском плоскогорье 26 августа 2000 видели три скопы вместе, молодые уже хорошо летали [10]. У Теньгинского озера нашли гнездо скопы и встретили вблизи одного слётка, которого 7, 9 и 10 сентября 1974 здесь уже не застали. На этом водоёме скопа гнездилась, вероятно, и в 1983 году, так как наблюдалась 3 мая, 29, 31 июля, 31 августа. В первую половину лета здесь охотилась пара птиц, с середины августа наблюдали три особи, в 1988 году все лето на Теньгинском озере держались две скопы, а с 20-х чисел августа их стало четыре, очевидно семья.

По сведениям А.П. Кучина [10] полная кладка скопы содержит 2–3 яйца.

На Телецком озере начало кладки отмечается в середине мая, насиживание начинается с первого яйца и приходится на конец апреля — начало мая. Птенцы появляются в первой половине июня, как правило, один-два. Молодое потомство скопы способно к затаиванию, особенно в первой половине развития, что позволяет скрывать свое нахождение в гнезде. Птенцы сидят в нём более двух месяцев. Распадаются выводки в конце августа. Отлёт скоп с мест гнездования происходит в среднем 25 сентября. В отдельные годы птицы задержива-

ются на водоёме до устойчивых холодов. Самая поздняя дата отлёта скоп с водоёма — 10 ноября 1993 [22].

В Центральном Алтае осенний отлёт скоп проходит постепенно и хорошо заметен в конце августа-начале сентября [10]. На Теньгинском озере птицы наблюдались 25 августа 1984, 1 сентября 1982, 6 сентября 1988; не было их на водоёме — 2 сентября 1979, 5–6 сентября 1984, 7, 9 и 10 сентября 1974. На пролёте скопы регистрировались 11 сентября 1978 в нижнем течении Катуня у с. Образцовка, в низовьях Катуня на р. Кокше — 18 сентября. В бассейне р. Лебедь самые поздние скопы наблюдались 26 августа 1999, 2 октября 1998, 4 октября 1996, на Улаганском плоскогорье — 26 июля 2000.

Для Алтай-Саянского региона численность скопы к 2005 году оценивалась в 360–380 гнездящихся пар. Более детальное обследование территории региона позволило к 2015 году уточнить эту цифру на уровне около 400 гнездящихся пар [23].

В начале 2000-х годов в Республике Алтай предположительно гнезилось не более 30 пар, в основном, в северной и северо-восточной части. По состоянию на 2018 год в республике найдено 11 гнездовых участков скопы [23]. В Юго-Восточном Алтае на Улаганских озёрах численность вида не меняется и остаётся стабильной [22].

Осенняя миграция скоп происходит в августе-сентябре, некоторые особи задерживаются до октября [10].

Вывод

Реальную угрозу популяции скопы на Алтае несёт трансформация прибрежных ландшафтов в сочетании с загрязнением водоёмов и сокращением их рыбности, особенность архитектоники гнездовых деревьев, факторы беспокойства, скудность кормовой базы, браконьерство и низкая репродуктивная способность.

Авторы выражают благодарность за предоставленные сведения и техническую поддержку А.Л. Эбелю, к. б. н. Р. Ф. Бахтину, к. с.-х. н. В.Н. Козилу, А.В. Макарову,

ЛИТЕРАТУРА

1. Важов С.В., Мацюра А.В., Важов В.М. Большой подорлик *Aquila clanga* в Алтайском крае и Республике Алтай // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17. № 3. С. 63–77. DOI:10.18470/1992–1098–2022–3–63–77
2. Плотников В.Н. Скопа — *Pandion haliaetus* Linnaeus, 1758 // Красная книга Алтайского края. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. Барнаул, 2016. С. 143–145.
3. Митрофанов О.Б., Кучин А.П. Скопа — *Pandion haliaetus* (Linnaeus, 1758) // Красная книга Республики Алтай (животные, 3-е изд.). Горно-Алтайск, 2017. С. 155–156.
4. Красная книга Российской Федерации, том «Животные». 2-ое издание. М.: ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. 1128 с.
5. Красная книга Алтайского края. Т. 2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных. 3-е изд., переработ. и доп. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2016. 312 с.
6. Красная книга Республики Алтай (животные, 3-е изд.). Под ред. А.В. Бондаренко. Горно-Алтайск, 2017. 368 с.
7. Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск, 2008. 205 с.
8. Рябицев В.К. Птицы Сибири. М. Екатеринбург: Изд-во «Кабинетный учёный», 2014. Т. 1. 438 с.
9. Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны СССР. М.: Наука, 1990. 728 с.
10. Кучин А.П. Птицы Алтая. Горно-Алтайск, 2004. 777 с.
11. Котлов А.А. К распространению редких птиц на юго-западе Кулунды // Алтайский зоологический журнал. 2015 (9). С. 69–71.
12. Важов С.В. О гнездовании беркута — *Aquila chrysaetos* (Linnaeus, 1758) на северной оконечности Семинского хребта // Алтай: экология и природопользование: Труды VII Российско-монгольской научной конференции молодых учёных и студентов: В 2-х частях. Бийск: БПГУ им. В.М. Шукшина, 2008. Ч. 1. С. 79–84.
13. Гармс О.Я. Наблюдения птиц в Лифляндском заказнике (Северо-Западный Алтай) в период сезонных миграций 2012 года // Алтайский зоологический журнал. 2015. Вып. 9. 2015. С. 61–66.
14. Гармс О.Я. Список птиц города Барнаула и его окрестностей в пределах современного административного Барнаульского округа (на 1 января 2017 г.) // Алтайский зоологический журнал. 2017 (12). С. 6–14.
15. Стахеев В.А. Птицы Алтайского заповедника. Итоги инвентаризации орнитофауны в 1970–1979 годы. Шушенское, 2000. 190 с.
16. Эбель А.Л., Елисеев С.Л., Уколов И.И., Чернышев О.Г., Вурман Д.Э. К фауне птиц Горного Алтая // Русский орнитологический журнал. 2012. Т. 21 (766). С. 367–380.
17. Бочкарева Е.Н. Новые данные по встречам редких видов птиц в Усть-Коксинском районе (Центральный Алтай) // Редкие животные Республики Алтай: Материалы по подготовке второго изд. Красной книги Республики Алтай. Горно-Алтайск, 2006. С. 167–169.
18. Нагибина Е.Н. Материалы по распространению редких видов птиц в Катунском заповеднике и на прилегающих территориях // Редкие животные Республики Алтай. Материалы по подготовке второго издания Красной книги Республики Алтай. Горно-Алтайск, 2006. С. 170–173.
19. Бочкарева Е.Н., Ливанов С.Г. Птицы Центрального Алтая: Численность, распределение и пространственно-временная дифференциация населения. Новосибирск: Наука-Центр, 2013. 544 с.
20. Ракин Е.М. К изучению фауны редких хищных птиц российской части трансграничного биосферного резервата «Большой Алтай» // Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спецвыпуск 1. С. 78–79.
21. Митрофанов О.Б. Мониторинговые наблюдения за орнитофауной на Прителецких стационарах и в Джулукульской котловине в 2018 году // Полевые исследования в Алтайском биосферном заповеднике. 2019. Вып. 1. С. 101–109.
22. Митрофанов О.Б. Мониторинговые наблюдения за гнездованием скопы на Телецком озере // Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях: Вып. 1. Шушенское, 2016. С. 79–81.
23. Карякин И.В. Скопа в Алтае-Саянском регионе, Россия // Пернатые хищники и их охрана. 2018. Спецвыпуск 1. С. 172–175.

МОРФОМЕТРИЯ И ПОЛОВОЙ ДИМОРФИЗМ НЕКОТОРЫХ МУХ-ГИБОТИД РОДА *PLATYPALPUS* (DIPTERA, HYBOTIDAE)

MORPHOMETRY AND SEXUAL DIMORPHISM OF SEVERAL FLIES IN THE GENUS *PLATYPALPUS* (DIPTERA, HYBOTIDAE)

V. Kuleshov
S. Kustov

Summary. The article presents studies of the morphometry and sexual differences of several species of flies in the genus *Platypalpus*, common in the Krasnodar region. The following morphometric characteristics were studied: the length of the insect's body, the length and width of the wings, the height and width of the head, the lengths of the tibia and femur of the first and second limbs, and their differences in different sexes. The species included in the study were: *Platypalpus longiseta*, *P. minutus*, *P. pilifer*, *P. exilis*, *P. subcaucasicus*. As part of this study, more than 100 individuals of the studied species were analyzed.

Keywords: Diptera, Hybotidae, morphometry, sexual dimorphism, *Platypalpus*, Northwestern Caucasus.

Кулешов Владимир Андреевич

Аспирант, Кубанский государственный университет
feodosii12@gmail.com

Кустов Семён Юрьевич

Доктор биологических наук, профессор,
Кубанский государственный университет
kustov-semen@mail.ru

Аннотация. В статье приведены исследования морфометрии и половых различий некоторых видов мух рода *Platypalpus*, распространённых на территории Краснодарского края. Были исследованы такие морфометрические признаки, как длина тела насекомого, длина и ширина крыльев, высота и ширина головы, длины голени и бедра первой и второй конечности, их различия у разных полов. В исследовании участвовали виды: *Platypalpus longiseta*, *P. minutus*, *P. pilifer*, *P. exilis*, *P. subcaucasicus*. В рамках данного исследования было проанализировано более 100 особей видов.

Ключевые слова: двукрылые, гиботиды, морфометрия, половой диморфизм, *Platypalpus*, Северо-Западный Кавказ.

Введение

Естественные различия в размерах и форме частей тела животных часто являются результатом адаптации к меняющимся условиям окружающей среды. В то время как некоторые проявления полового диморфизма, такие как удлинение тела самцов и его придатков, увеличение глаз или появление особенных структур на теле, неоднократно развивались у настоящих мух (Diptera) [2], проявления полового диморфизма практически не исследовались в семействе Hybotidae. С целью изучения закономерностей распределения моделей полового диморфизма мы проанализировали 5 видов мух-гиботид рода *Platypalpus*, обитающих на территории Северо-Западного Кавказа. Результаты исследования указывают на наличие разнообразных моделей полового изменчивости в роде *Platypalpus*. Имеется тенденция к тому, что самцы имеют чуть более крупные крылья с относительной меньшей шириной по отношению к самкам. В ряде случаев больший размер крыльев самцов коррелирует с общим увеличением размера тела, тогда как в других случаях различия формы и размера могут объясняться различиями в жизненных стратегиях и особенностях поведения самцов и самок [4]. Также, у самцов может наблюдаться морфологическое удлинение головы

по отношению к самкам и увеличение объема сложных глаз. Это может объясняться необходимостью поиска партнера во время периода размножения.

Известно, что половой диморфизм по размеру и форме усиков часто встречается у двукрылых насекомых [10]. В случае рода *Platypalpus* встречаются как различия в относительной величине структур усиков, так и в их окраске. Так, к примеру, у *Platypalpus subcaucasicus* постпедицель самок в основании имеет сегмент с темно-коричневым окрасом, тогда как у самцов он желтый.

Материал и методы

Всего было использовано 126 экз. следующих видов: *Platypalpus longiseta* (11 самцов и 16 самок), *P. minutus* (13 самцов и 18 самок), *P. pilifer* (15 самцов и 13 самок), *P. exilis* (8 самцов и 10 самок), *P. subcaucasicus* (11 самцов и 11 самок). Экземпляры были собраны энтомологическим сачком в летне-весенний период с 2016–2023 гг. и хранились в энтомологической коллекции кафедры зоологии Кубанского государственного университета. Экземпляры каждого вида были собраны из природных популяций: *P. longiseta* — р-он Горячий ключ, окр. пос. Ку-таис, Северский район, окр. ст. Планческая; *P. minutus* —

окр. г. Горячий ключ, окр. пос. Ильский; *P. pilifer* — Северский район, окр. ст. Планчская, Павловский район, окр. ст. Павловской; *P. exilis* — Северский район, окр. ст. Планчская, Северский район, окр. пос. Тхамаха; *P. subcaucasicus* — р-он Горячий ключ, окр. пос. Октябрьский, Апшеронский район, берег р. Пшеха.

Морфометрия была проанализирована с использованием методики на основе ориентиров [9]. Исследуемых особей помещали на предметное стекло микроскопа и измеряли морфометрические признаки. Для исключения ошибки измерения выполнялись до трех раз.

Всего исследовано восемь морфометрических признаков особей: общая длина тела (S), длины передних и средних голеней ($T1$, $T2$), длина среднего бедра ($F2$), длина (L_w) и ширина (W_w) крыла, высота (L_h) и ширина (W_h) головы (Рисунок 1).

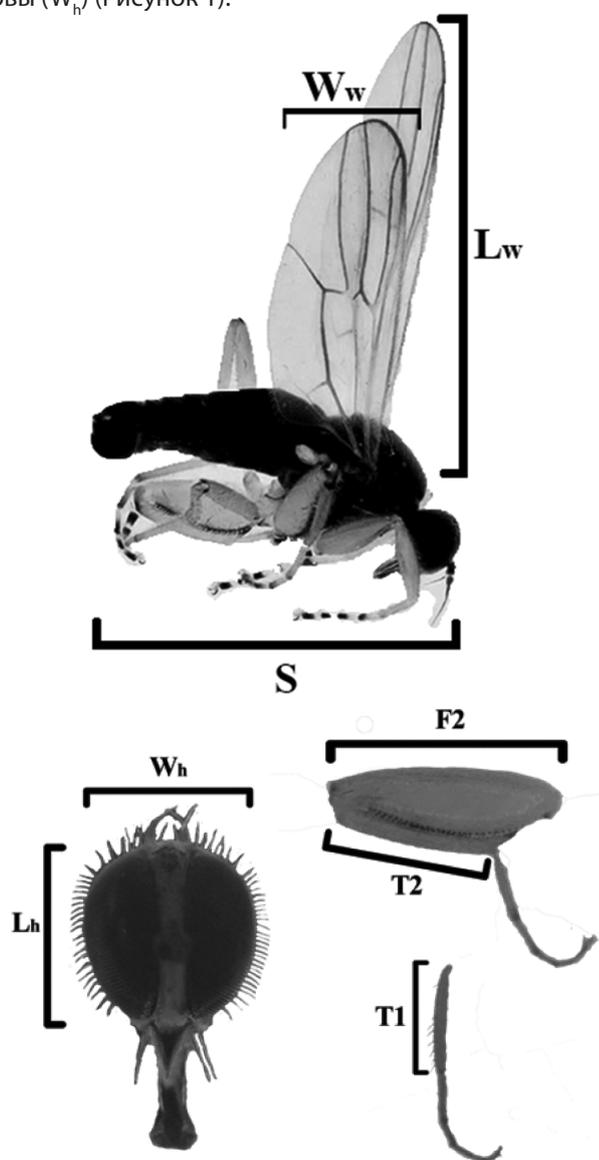


Рис. 1. Измеряемые морфометрические признаки

Для определения существенных различий между морфометрическими признаками самок и самцов мы провели однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Анализ был проведен по каждому признаку внутри одного вида.

Результаты и их обсуждение

Семейство Hybotidae является недостаточно исследованным, что подтверждается периодическими описаниями новых видов, в том числе и с территории Северо-Западного Кавказа [1, 5, 6, 7]. Изучение морфологии Hybotidae также является актуальной темой. Целесообразным представляется исследование особенностей строения видов рода *Platypalpus*, отличающегося значительным количеством таксонов, составляющих примерно половину всех видов Hybotidae.

Данное исследование посвящено сравнению особенностей морфометрии у пяти видов мух рода *Platypalpus*, позволяющие определить наличие и характер полового диморфизма таксонов. Морфометрические показатели определены для каждого вида (таблица 1).

Дисперсионный анализ видов показывает статистически значимые различия в морфометрии самок и самцов (таблица 2). Статистически значимым различием считался признак с $P < 0,05$. Значимое видовое и половое взаимодействие позволяет увидеть разницу в характере полового диморфизма между видами.

Установлено, что различия в морфометрии головы, ног и крыльев между полами были статистически значимыми, в то время как общий размер тела различался незначительно. Все самцы имели более удлиненную голову, а также более длинные крылья с относительно одинаковой шириной крыла по отношению к самкам. Половой диморфизм в морфометрии ног всех изученных видов проявляется в большей длине у самцов всех структур ног по сравнению с самками.

Исследования авторов других таксонов мух (*Drosophila melanogaster*) указывает на то, что самцы с более длинными крыльями имеют более высокий успех спаривания [8]. По-видимому, удлинение головы и структур лапок несет сходный эффект, упрощая поиск партнера во время периода размножения и процесс спаривания.

Известно, что половые морфометрические признаки могут иметь размеры непропорционально размеру тела у представителей одного пола в ответ на сигналы окружающей среды [3]. Дальнейшие исследования в этом направлении позволяют выяснить, какие морфометрические признаки стимулируются под влиянием определенных условий среды.

Таблица 1.

Морфометрические признаки исследуемых видов и их среднее значение

Вид		Длина тела, мм	Высота головы, мм	Ширина головы, мм	Длина передней голени, мм	Длина средней голени, мм	Длина среднего бедра, мм	Длина крыла, мм	Ширина крыла, мм
<i>Platypalpus longiseta</i> (Zetterstedt, 1842)	♂	3,5	0,7	0,55	1,25	1,4	1,75	4,1	1,1
	♀	3,6	0,6	0,6	1,05	1,2	1,6	3,9	1,2
<i>Platypalpus minutus</i> (Meigen, 1804)	♂	1,7	0,6	0,45	0,6	0,6	0,8	2,15	0,65
	♀	1,8	0,5	0,55	0,7	0,7	0,85	1,8	0,8
<i>Platypalpus pilifer</i> (Grootaert et van der Weele, 2020)	♂	4,15	0,7	0,7	1,25	1,4	2,2	4,25	1,3
	♀	4	0,6	0,7	1,3	1,3	2	4,2	1,4
<i>Platypalpus exilis</i> (Meigen, 1822)	♂	2	0,6	0,55	0,7	0,7	1	2,5	1
	♀	1,9	0,55	0,65	0,7	0,7	1	2,4	1
<i>Platypalpus subcaucasicus</i> (Kustov, Shamshev et Grootaert, 2015)	♂	3,55	0,8	0,7	1,15	1,2	1,4	3,8	1,1
	♀	3,5	0,6	0,7	1	1	1,25	3,7	1,05

Таблица 2.

Результаты однофакторного дисперсионного анализа исследуемых признаков *Platypalpus longiseta* (Zetterstedt, 1842)

Признак	SS	df	MS	F	P-Значение	F-критическое
Длина тела, мм	0.004410839	1	0.00441083	0.22940534	0.636300202	4,22520127
Высота головы, мм	0.016841492	1	0.01684149	3.52403211	0.072692865	4,22520127
Ширина головы, мм	0.058191142	1	0.05819114	15.2758981	0.000663866	4,22520127
Длина передней голени, мм	0.320841492	1	0.32084149	45.1103251	0.000601813	4,22520127
Длина средней голени, мм	0.245458843	1	0.24545884	29.4163394	0.00110241	4,22520127
Длина среднего бедра, мм	0.083824007	1	0.08382400	8.66763763	0.006738215	4,22520127
Длина крыла, мм	0,412857143	1	0,41285714	14,9980039	0,000650983	4,22520127
Ширина крыла, мм	0.008573338	1	0.00857333	1.34224992	0.257168684	4,22520127

Таким образом, морфометрические признаки и закономерности полового диморфизма у мух-гиботид изучены слабо и исследовались преимущественно для отдельных видов в ходе их описания как новых для науки таксонов. Комплексные исследования могут быть направлены на другие виды из семейства Hybotidae, де-

монстрирующие различные типы полового диморфизма (например, видоизменения конечностей, сегментов усиков и др.). Результаты, полученные в этом направлении, помогут оценить наличие консервативных генетических особенностей и процесса формирования комплекса ассоциированных признаков с реакцией на половой отбор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шамшев И.В. Список видов семейств Hybotidae и Empididae (Diptera) Кавказа / И.В. Шамшев, С.Ю. Кустов // Кавказский энтомологический бюллетень. 2006. Т. 2, вып. 2. С. 221–230.
2. Bonduriansky R. Convergent evolution of sexual dimorphism in Diptera / J. Morphol. 2006. № 267: P. 602–611. DOI: 10.1111/evo.12100
3. Bonduriansky R. Sexual selection and allometry: a critical reappraisal of the evidence and ideas / Evolution. 2007. № 61. P. 838–849. DOI: 10.1111/j.1558-5646.2007.00081.x
4. Emlen D.J., Nijhout H.F. The development and evolution of exaggerated morphologies in insects / Annu. Rev. Entomol. 2000. № 45. P. 661–708.
5. Grootaert P., van der Weele R., Oboňa J. & Kustov S. Description of a peculiar new species of the genus *Platypalpus* Macquart, 1827 (Diptera: Hybotidae) from the Caucasus / Caucasian Entomological Bulletin. 2020. Vol. 27, №1. P. 85–90.
6. Kustov S., Shamshev I., Grootaert P. New data on the genus *Platypalpus* (Diptera: Hybotidae) from the Caucasus with description off seven new species / Zootaxa. 2015. № 3973(3). P. 451–473. DOI: 10.11646/zootaxa.3973.3.3
7. Kustov S.Yu. Six new species of the *Platypalpus pallidiventris-cursitans* group (Diptera: Hybotidae) from the Caucasus / S.Yu. Kustov, I.V. Shamshev, P. Grootaert // Zootaxa. 2014. № 3779 (5). P. 529–539.
8. Menezes B.F., Vigoder F.M., Peixoto A.A., Varaldi J., Bitner-Mathé B.C. The influence of male wing shape on mating success in *Drosophila melanogaster* / Anim. Behav. 2013. № 85. P. 1217–1223. DOI: 10.1016/j.anbehav.2013.03.008
9. Rohlf F.J. Morphometrics / Annu. Rev. Ecol. Syst. 1990. № 21. P. 299–316. DOI: 10.1146/annurev.es.21.110190.001503
10. Wilkinson G.S., Dodson G.N. Function and Evolution of Antlers and Eye Stalks in Flies. In: The Evolution of Mating Systems in Insects and Arachnids. (J. Choe and B. Crespi, eds.) 1997. Cambridge University Press, Cambridge. P. 310–328.

ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ФОНОВОЙ ДОБАВКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СВОДНЫХ РАСЧЕТОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

THE PROBLEM OF ACCOUNTING BACKGROUND ADDITIVES DURING CONDUCTING OF SUMMARY CALCULATIONS AND EMISSION QUOTAS

M. Ovodkov
M. Tkachev
V. Sukhov

Summary. The article describes the problems of discrepancy between calculated and instrumentally measured concentrations of pollutants at control points of pilot cities participating in the federal Clean Air project and the experiment on emission quotas during summary calculations of atmospheric air pollution. The reasons for the need to introduce background additives into summary calculations and the factors affecting the accuracy of summary calculations are investigated.

Keywords: atmospheric air, emissions, pollutants, summary calculations of atmospheric pollution, background additive.

Оводков Михаил Владимирович

кандидат технических наук, руководитель, Научно-методический центр экологического моделирования, прогнозирования и оценок ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт «Экология»
m.ovodkov@vniiecolology.ru

Ткачев Максим Александрович

инженер по мониторингу, Научно-методический центр экологического моделирования, прогнозирования и оценок ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт «Экология»
m.tkachev@vniiecolology.ru

Сухов Всеволод Вадимович

младший научный сотрудник, Научно-методический центр экологического моделирования, прогнозирования и оценок ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт «Экология»
v.suhov@vniiecolology.ru

Аннотация. В статье описана проблематика, связанная с расхождением расчетных и инструментально измеренных концентраций загрязняющих веществ в контрольных точках пилотных городов-участников федерального проекта «Чистый воздух» и эксперимента по квотированию выбросов при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха. Исследованы причины необходимости введения в сводные расчеты фоновых добавок и факторы, влияющие на точность сводных расчетов.

Ключевые слова: атмосферный воздух, выбросы, загрязняющие вещества, сводные расчеты загрязнения атмосферы, фоновая добавка.

Введение

В соответствии с Указом Президента РФ [2] экологическое благополучие включено в одну из семи национальных целей развития нашей страны на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года. В современных реалиях наиболее актуальной экологической проблемой, затрагивающей благополучие миллионов граждан нашей страны, является проблема техногенного загрязнения атмосферного воздуха.

Предпосылками для формирования требований к совершенствованию методологических основ оценки последствий загрязнения атмосферы является продолжающаяся опасная тенденция сохранения, а по отдельным показателям и роста, объемов выбросов загрязняющих веществ (далее — ЗВ) в атмосферу и масштабов их распространения на территориях промышленной и инфраструктурной активности. При этом токсическая

опасность атмосферных поллютантов характеризуется ростом негативных последствий их воздействия на организм человека.

Для реализации поставленных задач в 2018 году в рамках национального проекта «Экология» стартовал федеральный проект «Чистый воздух» (далее — ФПЧВ) и эксперимент по квотированию выбросов, руководство которыми с августа 2021 года возложено на Минприроды России.

В наиболее общем виде в рамках ФПЧВ можно выделить две основные составляющие, взаимодополняющие друг друга в деле достижения целевых показателей, установленных перечисленными майскими указами — это региональные комплексные планы снижения выбросов, призванные обеспечить поэтапное сокращение валовых выбросов посредством выполнения прописанных в данных планах конкретных воздухоохраных мероприятий,

и сводные расчеты загрязнения атмосферного воздуха (далее — СР), на основании которых выделяются квотируемые объекты, приоритетные загрязняющие вещества и устанавливаются квоты выбросов [9].

Все результаты как в СР, так и в системе квотирования выбросов формируются исключительно расчетным методом. Математический аппарат эксперимента основан на официальной расчетной модели МРР-2017 [5], которая помимо эксперимента по квотированию получила широкое применение при нормировании выбросов отдельных предприятий.

После проведения СР становится возможным перейти к следующим этапам эксперимента — формированию перечней приоритетных загрязняющих веществ [11], перечней квотируемых объектов, доведению до квотируемых объектов допустимых вкладов в концентрации и утверждению квот выбросов. Несмотря на экспериментальный характер правоотношений, определенный Федеральным законом [1], установленные на основе СР квоты являются обязательными к соблюдению экологическими нормативами.

На сегодняшний день в периметре ФПЧВ и эксперимента по квотированию находится 41 пилотный город [1, 12]. Данные города были включены в ФПЧВ в связи с отмечаемым в них Росгидрометом высоким и сверхвысоким уровнем загрязнения атмосферы.

По состоянию на май 2024 года научно-исследовательским институтом ФГБУ «ВНИИ Экология», находящемся в ведомственном подчинении Минприроды России, подготовлены СР по всем пилотным городам. Примененная «ВНИИ Экология» методология подготовки СР подробно описана в статье [10].

К весьма важному в структуре работ по СР относится этап уточнения СР по данным государственного мониторинга атмосферного воздуха, осуществляемого на стационарных пунктах наблюдения за загрязнением воздуха Росгидромета (далее — ПНЗ). При этом согласно Правилам [7] возникающие расхождения расчетных приземных концентраций и данных ПНЗ надлежит урегулировать путем введения фоновой добавки. Однако вопрос введения фоновой добавки не регламентирован исчерпывающим образом, что способно создать определенные проблемы на этапе квотирования выбросов.

1. Инструментальные и расчетные способы определения фонового загрязнения атмосферы

Как известно, фоновое загрязнение атмосферы — это характеристика загрязнения атмосферного воздуха, отражающая концентрации загрязняющих веществ, создаваемые всеми источниками выбросов ЗВ в атмос-

феру (далее — ИЗАВ) на рассматриваемой территории, исключая ИЗАВ, для которого определяется фоновая концентрация. Для определения уровня фонового загрязнения атмосферного воздуха используется сеть мониторинговых станций, наличие которой позволяет определять концентрации загрязняющих веществ (далее — ЗВ) в различных частях города.

Государственная наблюдательная сеть мониторинга загрязнения атмосферного воздуха на территории Российской Федерации в 2022 году состояла из 618 пунктов наблюдений, расположенных в 219 городах. Количество лабораторий мониторинга загрязнения атмосферы, задействованных в работах по определению концентраций загрязняющих веществ, составляет 149 [8]. ПНЗ подразделяются на стационарные, маршрутные и передвижные, что позволяет получать репрезентативные данные о концентрациях ЗВ в приземной атмосфере. Наблюдения ведутся по полной, неполной, сокращенной и суточной программам, которые отличаются друг от друга количеством измерений, проводимых в сутки, а также перечнем ЗВ, контролируемых в рамках мониторинга. На основании непрерывных многолетних наблюдений формируются временные ряды данных, статистическая обработка которых позволяет определить среднесуточные, среднегодовые концентрации загрязняющих веществ, а также 98-й процентиль, представляющий собой значение концентрации, ниже которой расположены 98 % полученных на ПНЗ результатов.

В конце каждого года на основе данных с ПНЗ подготавливаются территориальные ежегодники состояния и загрязнения атмосферного воздуха в Управлениях по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (ФГБУ «УГМС»). ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (далее — ФГБУ «ГГО») — научно исследовательский центр Росгидромета, на их основе, а также по имеющимся данным о выбросах загрязняющих веществ, подготавливает сводный Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России [8].

Говоря о понятии расчетного мониторинга загрязнения атмосферы, которое, к сожалению, пока не нашло отражения в официальных нормативно-методических документах, следует отметить официальную функцию Росприроднадзора по выдаче справок о фоновом загрязнении атмосферы на основе СР. Так, при наличии СР согласно п.16 раздела II Методики [3] сведения о фоновых концентрациях ЗВ запрашиваются в органах государственной власти соответствующего субъекта РФ, или, при проведении СР для городских округов — участников эксперимента по квотированию выбросов, в соответствующем территориальном органе Росприроднадзора. Справки выдаются на основании заявлений в соответствии с Временным порядком [4]. Важно отметить, что

если ПНЗ позволяют определять фон для ограниченно-го числа ЗВ, обычно не более 40, то с применением СР фоновое загрязнение можно смоделировать для всех ЗВ, которые учтены в инвентаризациях предприятий, в большинстве городов это 200 и более ЗВ.

Проблематика учета фонового загрязнения атмосферы традиционными методами требует отдельного исследования, однако можно с уверенностью утверждать, что именно проблемы с корректностью учета фона, в том числе, стали причиной сверхнормативного загрязнения атмосферы и жалоб жителей, когда стала возможной ситуация, при которой все крупные предприятия в городе имеют утвержденные в установленном порядке нормативы ПДВ/НДВ, добросовестно соблюдают данные нормативы, при этом в жилой зоне фиксируются превышения нормативов ПДК. Данная ситуация, как видится, и стала одной из причин экспериментального введения сводных расчетов и квотирования выбросов на их основе, как новой более эффективной системы нормирования выбросов.

2. Учет фоновой добавки при проведении сводных расчетов загрязнения атмосферы

Одним из основных результатов СР служат данные о концентрациях ЗВ в контрольных точках (далее — КТ), а также об основных вкладчиках в концентрации (предприятиях и их ИЗАВ). В соответствии с пунктом 37 раздела VII, а также разделом VIII Правил [7] в перечень КТ для проведения СР обязательно включаются ПНЗ. Как показывает практика, расчетные концентрации по результатам СР не всегда совпадают с концентрациями, измеренными на ПНЗ. В таких случаях в рамках проведения или актуализации СР проводится уточнение результатов СР путем сопоставления расчетных концентраций с данными ПНЗ.

Климатические справки, адреса ПНЗ и полученные на них концентрации ЗВ были предоставлены нашему Институту от ФГБУ «ГГО». Данные ГГО содержат таблицы со среднегодовыми и среднесезонными фоновыми концентрациями, а также 98-й процентиль функции распределения концентраций. Сопоставление этих данных показало, что имеются расхождения расчетных значений с данными мониторинга как по максимально разовым, так и по долгопериодным концентрациям.

Для уточнения СР Правилами [7] предписано введение в СР фоновой добавки, которая рассматривается как дополнительный фон от неучтенных ИЗАВ, которые по тем или иным причинам не были включены в СР. Механизм введения фоновой добавки описан в пунктах 39–55 Правил [7]. Фоновая добавка рассчитывается по формуле (1).

$$\Delta \bar{c} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \Delta c_j \quad (1)$$

где J — общее количество использованных при анализе ПНЗ;

Δc_j — величина расхождения между инструментальной и расчетной концентрациями.

Согласно параграфу VIII Правил [7] при совместном анализе по максимальным разовым концентрациям, полученные при проведении Сводных расчетов значения максимальных разовых концентраций сопоставляются с процентилем функции распределения измеренных концентраций. Фоновая добавка вводится только в том случае, когда разность значений процентилей функции распределения измеренных концентраций и расчетной концентрации на ПНЗ положительная и превышает 25 % значения процентилей функции распределения измеренных концентраций. Аналогично, при совместном анализе по среднегодовым (среднесезонным) концентрациям, значения среднегодовых (среднесезонных) концентраций, полученных в результате Сводных расчетов, сопоставляются со значениями фоновых концентраций, определенных посредством ПНЗ. Фоновая добавка вводится только в том случае, когда разность значений среднегодовых (среднесезонных) концентраций, полученных на ПНЗ, и среднегодовых или среднесезонных фоновых концентраций, полученных по результатам СР, положительная и превышает 25 % значения среднегодовых (среднесезонных) фоновых концентраций, полученных на ПНЗ.

В таблице 1 представлены данные об общем количестве измеряемых на ПНЗ ЗВ, количестве ЗВ, по которым расчетные концентрации ниже, чем измеренные на ПНЗ, а также о количестве введенных по причине превышения измеренных концентраций над расчетными фоновых добавок в разрезе пилотных городов.

Из таблицы 1 видно, что количество ЗВ, по которым расчетные концентрации ниже, чем измеренные на ПНЗ, зачастую превышает количество ЗВ, для которых введена фоновая добавка, так как для части веществ разность между измеренной и расчетной концентрациями незначительна.

В таблице 2 представлен фрагмент типовой таблицы из Заключения о проведении СР с указанием концентраций заданного ЗВ в КТ с учетом и без учета фоновой добавки.

Согласно данным таблицы 2, фоновая добавка для максимальных разовых концентраций сероводорода, рассчитанная по формуле (1), для Читы составила 0,54 ПДК или же 0,004 мг/м³.

Таблица 1.
Основания для введения фоновых добавок в СР

Город	Количество ПНЗ	Общее количество веществ, измеряемых на ПНЗ	Количество ЗВ, по которым расчетные концентрации ниже, чем измеренные на ПНЗ		Количество ЗВ, для которых введена фоновая добавка
			СГ	МР	
			Братск	5	
Красноярск	8	35	4	4	7
Липецк	7	30	7	4	1
Магнитогорск	6	32	6	6	3
Медногорск	2	33	2	3	5
Нижний Тагил	4	31	3	2	5
Новокузнецк	8	25	3	2	5
Норильск	3	21	6	3	1
Омск	9	34	9	8	1
Челябинск	9	33	3	5	5
Череповец	6	29	8	18	4
Чита	6	24	6	5	6
Абакан	2	18	5	3	1
Астрахань	5	17	4	3	1
Барнаул	5	19	7	4	4
Иркутск	7	27	7	4	5
Махачкала	3	14	5	4	3
Ростов-на-Дону	7	20	5	1	3
Гусиноозерск	1	10	2	0	0
Селенгинск	2	14	1	1	2
Улан-Удэ	4	24	6	5	1
Кызыл	3	10	6	3	1
Черногорск	1	8	4	2	1
Петровск-Забайкальский	1	8	4	3	2
Ачинск	3	16	6	4	3
Лесосибирск	2	8	6	4	1
Минусинск	1	8	8	4	1
Усурийск	1	13	3	0	1
Комсомольск-на-Амуре	4	30	7	8	1
Чегдомын	1	7	5	3	1
Ангарск	5	23	7	6	4
Зима	2	18	5	2	3
Свирск	1	14	3	2	1

Город	Количество ПНЗ	Общее количество веществ, измеряемых на ПНЗ	Количество ЗВ, по которым расчетные концентрации ниже, чем измеренные на ПНЗ		Количество ЗВ, для которых введена фоновая добавка
			СГ	МР	
Усолье-Сибирское	2	20	8	6	2
Черемхово	2	10	4	1	1
Шелехов	2	19	3	5	4
Кемерово	8	22	7	2	3
Курган	5	18	3	0	3
Искитим	3	7	3	1	0
Новочеркасск	3	7	5	3	3
Южно-Сахалинск	4	16	4	2	6

Таблица 2.
Значения максимальных разовых концентраций сероводорода без учета и с учетом фоновой добавки в Чите

Наименование КТ	Значения максимальных разовых концентраций сероводорода			
	без учета фоновой добавки		с учетом фоновой добавки	
	концентрации, мг/м ³	кратность превышения ПДК	концентрации, мг/м ³	кратность превышения ПДК
ПНЗ № 2 улица Набережная, 66Б	0,002949	0,368611	0,007271	0,908924
ПНЗ № 3 улица Лазо, 30	0,001510	0,188793	0,005833	0,729105
ПНЗ № 4 переулок Октябрьский, 7	0,008939	1,117420	0,013262	1,657732
ПНЗ № 5 улица Красной Звезды, 75	0,000823	0,102885	0,005146	0,643197
ПНЗ № 6 улица Алексея Брызгалова, земельный участок 18	0,000714	0,089216	0,005036	0,629529
ПНЗ № 7 улица Чкалова, 148А	0,000412	0,051483	0,004734	0,591795

На рисунках 1–2 показаны максимально разовые концентрации формальдегида с учетом и без учета фоновой добавки.

Как видно на рисунках 1–2 фоновая добавка равномерно распределена по всем КТ. Если до введения фоно-

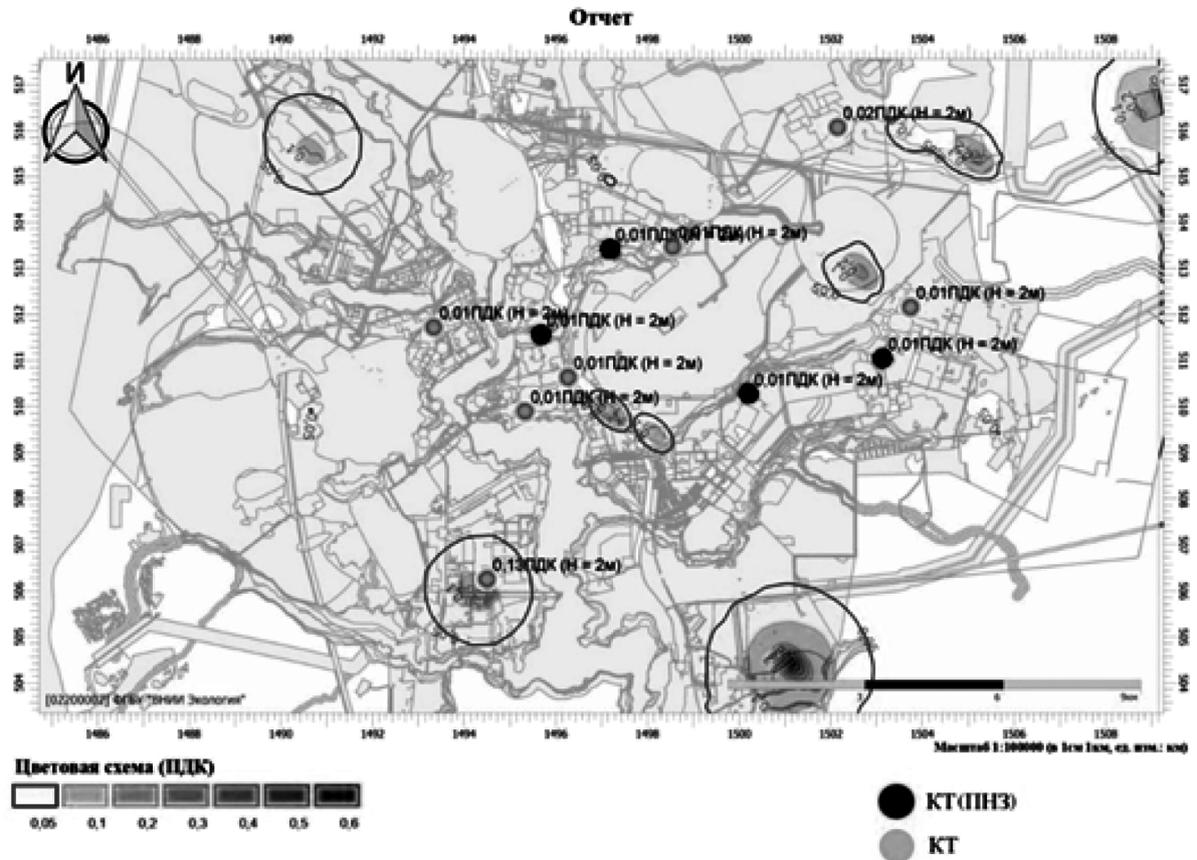


Рис. 1. Концентрации формальдегида без учета фоновой добавки

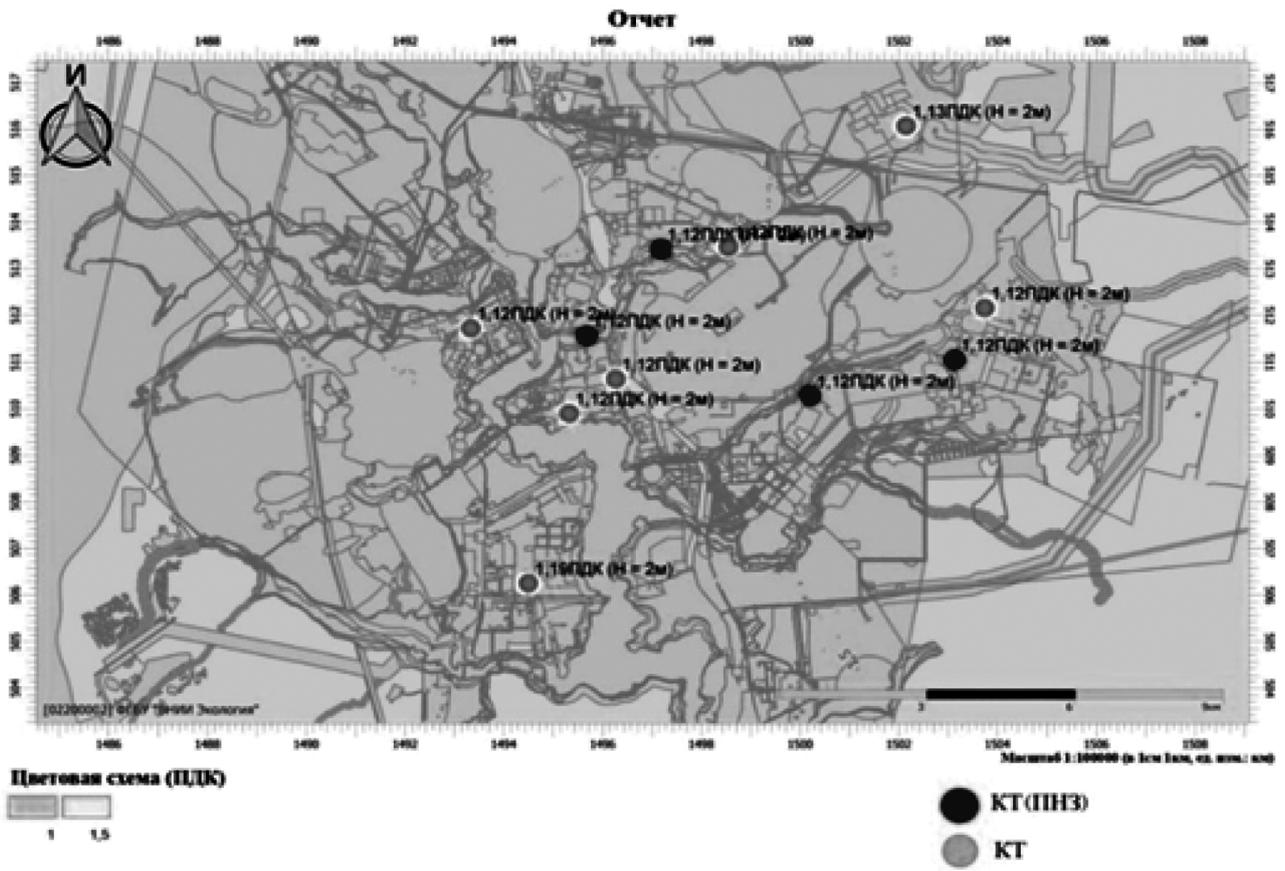


Рис. 2. Концентрации формальдегида с учетом фоновой добавки

вой добавки концентрации формальдегида в КТ составили не более 0,2 ПДК, то после введения таковой они достигли 1–1,5 ПДК.

По результатам проведения СР в пилотных городах ФПЧВ следует констатировать, что причинами расхождений расчетных концентраций, полученных с применением СР, с измеряемыми на ПНЗ являются:

- использование в СР недостоверных инвентаризационных данных о выбросах и их источниках (причиной недостоверных данных являются технические ошибки, некорректные методики расчета выбросов от стационарных источников, неучтенные выбросы);
- неучтенные источники выбросов в границах города (в т.ч. в связи с невыполнением требования о необходимости учета не менее 95% суммарных выбросов от объектов негативного воздействия, поставленных на госучет);
- эффект вторичного загрязнения (характерен для твердых частиц, а также мельчайших частиц, переносимых на них, таких как бенз(а)пирен) и эффект трансформации ЗВ под воздействием окружающей среды;
- трансграничное загрязнение атмосферы, обусловленное, например, лесными пожарами, или выбросами от объектов, расположенных за пределами города, и по этой причине не включенных в СР. Это характерно для ИЗАВ с большой высотой выброса — так, при рассеивании ЗВ от трубы высотой более 100 метров, концентрации ЗВ в приземном слое достигают максимума в радиусе 3–6 километров от ИЗАВ, а общий радиус рассеивания ЗВ может достигать десятков километров;
- несовершенство математической модели, примененной для СР;
- применение для проведения СР математической модели, предназначенной для определения приземных концентраций ЗВ только для определенных условий состояния атмосферы, например при НМУ, что не соответствует условиям, при которых производятся измерения на ПНЗ;
- несовершенство программных продуктов, автоматизирующих расчет по математической модели СР;
- осреднения и допущения при стилизации автодорог и АИТ, как ИЗАВ (приведение дорог к совокупности площадных источников, аппроксимация точечных АИТ в полигоны);

- идентификационные возможности ПНЗ, возможные сбои в индикации;
- возможные отклонения от методик обработки временных рядов данных, полученных на ПНЗ.

Для устранения расхождений должны применяться следующие методы:

- углубленная проверка инвентаризаций, позволяющая выявить ошибки в геометрических и аэродинамических параметрах выбросов и их источников, некорректные коэффициенты оседания и влияния рельефа, а также некорректный учет режима работы ИЗАВ — неодновременность, нестационарность, аварийные и залповые выбросы;
- выявление и включение в СР неучтенных ИЗАВ;
- учет в СР сопредельных ИЗАВ за границами города в т.ч. путем проведения единого сводного расчета по нескольким городам, в случае их расположения на относительно небольшом расстоянии друг от друга и наличии в городах ИЗАВ с относительно большой (более 100 м) высотой выброса;
- моделирование эффекта вторичного загрязнения (требует отдельного исследования);
- совершенствование математической модели СР (требует отдельного исследования действующей официальной модели МРР-2017 и альтернативных моделей).

Заключение

Итак, при проведении СР необходимо учитывать фоновое загрязнение атмосферы. По результатам проведенной «ВНИИ Экология» масштабной подготовки СР по 41 пилотному городу-участнику ФПЧВ и эксперимента по квотированию установлено 10 факторов, влияющих на расхождения СР с данными ПНЗ. Тем не менее, регламентный этап сопоставления расчетных концентраций и концентраций с ПНЗ в обязательном порядке был реализован при проведении СР по каждому пилотному городу, для чего были запрошены и проанализированы данные ГТО по ПНЗ.

На основании изложенного, в порядке дальнейших исследований по теме фонового загрязнения, весьма актуальной задачей представляется научно-методическая проработка корректного учета фоновой добавки при квотировании выбросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 26.07.2019 № 195-ФЗ «О проведении эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части снижения загрязнения атмосферного воздуха».
2. Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».
3. Методика разработки (расчета) и установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, утвержденная приказом Минприроды России от 11.08.2020 № 581.
4. Приказ Росприроднадзора от 20.12.2021 № 899 «Об утверждении временного порядка выдачи территориальными органами Росприроднадзора сведений о фоновом уровне загрязнения атмосферного воздуха на основе сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, проведенных на территориях реализации эксперимента по квотированию выбросов».
5. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, утвержденные приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273.
6. Правила квотирования выбросов загрязняющих веществ (за исключением радиоактивных веществ) в атмосферный воздух, утвержденные приказом Минприроды России от 29.11.2019 № 814.
7. Правила проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха, включая их актуализацию, утвержденные приказом Минприроды России от 29.11.2019 № 813.
8. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2022 г.». ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2023.
9. Оводков М.В. Актуализация сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха / М.В. Оводков, С.И. Баранникова, В.Н. Азаров // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. — 2023. — Вып. 1(90). — С. 211–223.
10. Оводков М.В. О подготовке сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха в рамках федерального проекта «Чистый воздух» и эксперимента по квотированию выбросов / М.В. Оводков, А.Д. Миронова, М.В. Никитин, М.А. Ткачев // Охрана атмосферного воздуха. Новые подходы и пути решения: сборник трудов к XXV экологическому Конгрессу «Атмосфера» / под ред. канд. геогр. наук В.А. Коплан-Дикс. — СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. — С. 79–101.
11. Зайцева Н.В., Май И.В., Кирьянов Д.А., Горяев Д.В. Научное обоснование приоритетных веществ, объектов квотирования и направлений действий по снижению аэрогенных рисков здоровью населения при реализации полномочий санитарной службы Российской Федерации // Анализ риска здоровью. — 2022. — № 4. — С. 4–17.
12. Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2022 № 1852-р «Об утверждении Перечня городских поселений и городских округов с высоким и очень высоким загрязнением атмосферного воздуха, дополнительно относящихся к территориям эксперимента по квотированию выбросов загрязняющих веществ».

© Оводков Михаил Владимирович (m.ovodkov@vniiecolology.ru); Ткачев Максим Александрович (m.tkachev@vniiecolology.ru);

Сухов Всеволод Вадимович (v.suhov@vniiecolology.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДИКТОРЫ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ К УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

PHYSIOLOGICAL AND MORPHOLOGICAL PREDICTORS ADAPTATION OF STUDENTS TO LEARNING ACTIVITIES

G. Seifulina
V. Drup

Summary. The article presents the results of a comprehensive study of the adaptive reactions of students at the pedagogical university of the Stavropol Territory. Considering the results of modern research, practical material on the main issues of human adaptation is presented: the influence of various environmental factors, functional features of the body's response to their effects; physiological indicators of labor intensity. A conceptual approach to the assessment of adaptive reactions has been developed. The ideas of students' adaptation to new living conditions.

Keywords: adaptation, maladjustment, predictors, health, illness, students.

Сейфулина Галина Владимировна

Кандидат биологических наук, доцент,
ГБОУ ВО «Ставропольский государственный
педагогический институт»
seif.gala@mail.ru

Друп Виктория Демировна

Кандидат биологических наук, доцент,
ГБОУ ВО «Ставропольский государственный
педагогический институт»
sylvia_vica@mail.ru

Аннотация. В статье представлены результаты комплексного исследования адаптивных реакций студентов педагогического вуза Ставропольского края. С учетом результатов современных исследований изложен практический материал по основным вопросам адаптации человека: влияние различных факторов окружающей среды, функциональные особенности реагирования организма на их воздействие; физиологические показатели напряженности труда. Разработан концептуальный подход к оценке адаптивных реакций. Расширены представления об адаптации студентов к новым условиям жизнедеятельности.

Ключевые слова: адаптация, дезадаптация, предикторы, здоровье, болезнь, студенты.

Изучение процесса адаптации человека к различным условиям среды обитания и жизнедеятельности остается актуальным на современном этапе. С одной стороны, эта актуальность связана с раскрытием основных особенностей функционирования систем организма в норме и патологии, а с другой — с решением ряда важнейших медико-биологических задач в аспекте долгосрочного прогнозирования здоровья человеческой популяции [1, 12].

В этой связи особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение механизмов адаптации и дезадаптации человека к быстро меняющимся условиям среды [3, 6, 10]. Успешное решение этой проблемы возможно лишь при учете морфофункционального статуса человека.

В структуре молодого поколения студенты представляют собой особую социальную группу, характеризующуюся специфическими условиями труда и жизни, необходимостью адаптации к комплексу новых факторов, высокой умственной и психоэмоциональной нагрузкой, вынужденным нарушением режима труда, отдыха и питания. Кроме того, на здоровье студентов действуют такие дополнительные факторы напряжения, как новая социальная и экологическая среда.

Поэтому особую актуальность приобретают задачи оценки адаптационных резервов организма, ранней и эффективной диагностики донологических состояний, характеризующихся напряженностью адаптационных механизмов и развитием дезадаптации.

Нами проведена комплексная оценка адаптационных возможностей организма 164 студентов 1-го курса очной (n = 85), возраст 17–19 лет, и заочной (n = 79), возраст 21–44 года, формы обучения с целью определения морфофункциональных предикторов адаптации с учетом возраста, пола, региона проживания.

Использовались следующие методы исследования: дерматоглифический (по Камминсу и Мидло); электропунктурная диагностика (по Накатани); тип высшей нервной деятельности (формула темперамента по А. Белову, тест-опросник А. Айзенка, опросник структуры темперамента В.М. Русалова); адаптационный потенциал (по Р.М. Баевскому); величина стрессовой нагрузки (по шкале Дж. Холмса); тип «коронарного поведения» (по адаптированному опроснику Д. Джекинса). Результаты исследования подвергались вариационно-статистической обработке.

Адаптация организма к новой среде обитания обеспечивается не отдельными системами организма, а ско-

ординированными во времени и пространстве функциональными системами [9, 16].

Междисциплинарность методики дерматоглифического исследования связана с медико-биологической (генетической в том числе) частью исследования, связанной с построением морфофункционального профиля человека, а также его адаптационных возможностей. Дактилоскопические показатели являются маркерами генетической детерминации адаптации человека [5].

В ходе исследования проведен сравнительный анализ частоты встречаемости пальцевых узоров (дуги, петли, завитки, сложные узоры); определен дельтовый индекс; гребневой счет на пальцах правой и левой руки; тотальный гребневой счет; индекс гребневой ширины на пальцах правой и левой руки.

В обследованных группах были выявлены все основные типы пальцевых узоров, среди которых максимально выявлены ульнарные петли, считающиеся доминирующим узором в популяциях человека. Наибольший процент встречаемости ульнарных петель отмечен у студентов заочной формы обучения (52 %) по сравнению со студентами-очниками (43 %). На втором месте по частоте встречаемости — завитковые узоры с максимальным их процентом у обследованных студентов 1 курса (32 %). Простой узор — дуговой (А), бездельтовый, свидетельствующий о замедленности пренатальной дифференцировки эктодермы, максимально обнаружен у студентов заочной формы обучения (19 %). Дуги — один из редко встречающихся типов узоров — свойственны 11 % студентам юношеского возраста. Количество радиальных петель в группе студентов юношеского и зрелого возраста 2,5 и 2 % соответственно. Сложные узоры максимально представлены в группе студентов очной формы обучения (11 %), а в группе студентов-заочников — почти в 3 раза реже (4 %).

Опираясь только на характеристику пальцевых узоров, можно обсуждать лежащие в основе как формирования общей конституции, так и частной дерматоглифической разные темпы развития, а именно — замедленные у лиц зрелого возраста, ускоренные у студентов юношеского периода онтогенеза.

В результате проведенных исследований обнаружена своеобразная дерматоглифическая конституция, фенотипически выражающаяся у лиц 1-й группы преобладанием завитковых узоров (32 %), у 2-й группы — преобладанием дуговых узоров (19 %). В нашем исследовании определение частоты встречаемости пальцевых узоров в аспекте биосимметрии привело к следующим результатам. Так, ульнарные петли среди лиц юношеского возраста доминируют на третьем и пятом пальце правой руки и на пятом пальце левой руки (по 49,3 %).

Минимальное их количество представлено на первом пальце правой руки (34,8 %). На этом же пальце максимально представлены завитки (36,3 %). Минимально они выявлены на пятом пальце правой руки (27,5 %). Дуги доминируют на четвертом пальце левой руки (21,7 %). Сложные узоры, в большей степени, выявлены на четвертом пальце правой руки и на втором пальце левой руки (по 15,9 %). Радиальные петли максимально выражены на первом пальце левой руки (7,2 %) и отсутствуют на четвертом пальце правой руки и на пятом пальце левой руки.

Схожая картина складывается среди студентов заочной формы обучения в отношении ульнарных петель и завитков. В данной группе ульнарные петли преобладают на пятом пальце левой руки (67,5 %), а минимальное их количество обнаружено на первом пальце правой руки (37,5 %). На этом же пальце доминируют завитковые узоры (35 %), а минимально встречаются на пятом пальце левой руки (13,8 %). Дуговой узор доминирует на втором пальце правой руки (25 %), в отличие от распределения дуг у лиц 1-й группы, и минимально представлен на втором пальце этой же руки (12,5 %). Сложные узоры преобладают на первом пальце правой руки (7,5 %). Радиальные петли отсутствуют на первом, втором и четвертом пальцах левой руки.

Таким образом, узоры высокой сложности, свидетельствующие об ускоренности пренатальной дифференцировки эктодермы (завитки и сложные узоры), представлены на одном и том же пальце правой руки лиц 2-й группы. Различия в распределении папиллярных рисунков на правой и левой руках — «внутрииндивидуальная изменчивость» — составляют особую проблему, тесно связанную с выяснением влияния наследственности и закономерностей биосимметрии на особенности частной дерматоглифической конституции в различные периоды онтогенеза [4, 7].

В результате наших исследований среди пальцевых рисунков у сангвиников петли (ульнарные) встречаются в 80 % случаев, среди дерматоглифических узоров у меланхоликов простые рисунки (дуги) наблюдаются в 27 % случаев.

Таким образом, уровень нейротизма тем выше, чем сложнее узор, а также чем более сложен узор на первых трех пальцах и чем менее сложен на четвертом и пятом пальцах. Отмечается достоверно большая частота встречаемости узора «завиток» у студентов с низким уровнем экстраверсии и большая частота встречаемости узора «ульнарная петля» среди обследованных с высоким уровнем экстраверсии. В группе с высоким уровнем нейротизма на грани со статистической достоверностью чаще встречаются дуги, в группе с низким уровнем нейротизма — достоверно чаще ульнарные петли. В каче-

стве маркеров уровня экстраверсии и нейротизма наиболее информативной является встречаемость самых «банальных» и самых сложных узоров (ульнарной петли и завитка).

Нами было определено среднее значение дельтового индекса среди лиц с различными типами темперамента: холерики — 1,7; сангвиники — 1,5; меланхолики — 0,6; флегматики — 1,2. Кроме того, выявлен тотальный гребневый счет среди холериков — 134, сангвиников — 126, меланхоликов — 90, флегматиков — 84.

Связь нейродинамической, психодинамической и дерматоглифической конституций обусловлена тем, что эпидермис и нервная ткань имеют общий источник развития в эмбриогенезе — эктодерму, в связи с чем можно предположить, что форма пальцевых узоров маркирует темпы роста нервной ткани, а свойства нервной системы, в свою очередь, тесно связаны с типом темперамента [2].

Поскольку описанные дерматоглифические картины являются вариантом нормы, решение проблемы адаптивного поведения может быть осуществлено именно усилиями психологов, которые должны определить, в чем особенности психофизиологического статуса этих людей и в чем причины риска развития отклонений в поведении [2, 13]. Кроме того, доказана маркирующая возможность пальцевой дерматоглифики в диагностике адаптационных возможностей человека. Таким образом, проведенное исследование показывает, что средовые влияния находятся в единстве с генетическими факторами.

Одной из причин существенного ухудшения здоровья студентов является резкое снижение возможностей адаптационного ответа организма на комплекс неблагоприятных воздействий.

Исходя из положения о том, что переход от здоровья к болезни осуществляется через ряд последовательных стадий процесса адаптации и развитие заболевания является следствием «полома» адаптационных механизмов, Р.М. Баевский предложил оригинальную методику прогностической оценки состояния здоровья человека [3].

Нами проведена диагностика адаптационного потенциала (АП) у студентов. Состояние АП (у. е.) оценивали как: до 2,1 — удовлетворительный уровень адаптации, 2,11–3,2 — напряжение адаптации, 3,21–4,3 — неудовлетворительная адаптация, выше 4,3 — срыв процесса адаптации. Ценность этого метода заключается в том, что с его помощью можно быстро и без больших затрат провести скрининг-диагностику, определить круг лиц с напряжением механизмов адаптации, преморбидными состояниями. Донозологический скрининг позволяет своевременно выявлять нарушения в работе сердечно-

сосудистой системы человека, которая является индикатором адаптационных реакций целостного организма.

Установлено, что у 19 % студентов-заочников выявлено напряжение адаптационных механизмов (АП = 2,0–2,5 у. е.). Дальнейший гендерный анализ показал, что среднегрупповое значение АП у юношей выше, чем у девушек (2,2±0,01 против 2,0±0,03). Среди девушек доля лиц с удовлетворительным уровнем адаптации составляет 84 %, тогда как среди юношей их всего 43 %.

Среди студентов определена величина стрессовой нагрузки по шкале Дж. Холмса (1989). Более 50 % студентов набрали более 200 баллов, возможно, это связано с прохождением итоговой аттестации в школе и поступлением в вуз. Причем студенты-заочники выявили больший процент данного показателя (59 %) по сравнению со студентами-очниками (51 %). Около 30 % студентов набрали от 120 до 200 баллов. Это свидетельствует о том, что стрессовая нагрузка не превышает норму, хотя предстоит борьба с факторами риска. Совокупность защитных реакций организма, направленная на ликвидацию стресса, получила название общего адаптационного синдрома [15].

Нами определен тип «коронарного поведения» среди студентов по адаптированному опроснику Д. Джекинса. 76 % студентов выявили промежуточный тип коронарного поведения. Студентам рекомендовано в свободное время отдыхать и запасаться хорошим настроением, приобрести навыки психической саморегуляции. 16 % студентов выявили тип А, свидетельствующий о напряженном ритме жизни, что может привести к ухудшению здоровья.

В рамках интенсивно развивающегося системного подхода постулированными являются современные эколого-физиологические представления об изменении состояния организма как целостной системы под действием множества факторов внешней среды. Профессиональное здоровье будущего педагога представляет собой сложное структурное образование, оказывающее существенное влияние на эффективность его педагогической деятельности и общения [14].

В аспекте указанного, проведена диагностика по методике Накатани. Метод электропунктурной диагностики основан на корреляции между изменением электропроводности репрезентативных точек по И. Накатани и состоянием классических акупунктурных меридианов, «определяющих» функциональное состояние соответствующих им органов и систем организма [17]. Нами с помощью данного метода выявлены наиболее часто встречающиеся патологии среди студентов заочной формы обучения: заболевания сердечно-сосудистой системы (44 %), желудочно-кишечного тракта (27 %), опорно-двигательного аппарата (21 %).

Кроме того, данный метод позволяет выявить возможные дисфункции меридианов при определенных психоэмоциональных состояниях [8, 17]. По результатам наших данных, 47 % студентов-заочников испытывают синдром хронической усталости, 31 % — эмоциональное возбуждение, 9 % — раздражительность, 7 % — депрессивное состояние, 4 % — тревожность, 2 % — апатию.

Выявление и идентификация донозологических и преморбидных состояний позволяет в полной мере использовать возможности профилактической медицины, что менее затратно и более результативно по сравнению с проведением дорогостоящих комплексов лечебных мероприятий. Для педагогических вузов максимальные возможности для этого имеются: в учебные планы всех профилей включены медико-биологические дисциплины с физиологической направленностью. Так, ГБОУ ВО СГПИ в образовательные программы включены элементы культуры здоровья в рамках дисциплин «Возрастная анатомия, физиология и культура здоровья», «Основы медицинских знаний» и др.

Физиологические практикумы ставят перед студентами цели расширения и укрепления знаний о закономерностях деятельности человеческого организма, его функциональных возможностях; формирования умений, практических навыков в проведении медико-биологических обследований. Исследование адаптации своего организма к нагрузкам, в том числе и учебным, является одной из целей практикумов. Практикумы знакомят студентов с основами антропометрии, с методами измерения артериального давления, частоты сердечных сокращений, оценки состояния нервно-мышечного аппарата и др. Студенты обучаются навыкам гигиенической оценки помещения, анализируют динамику умственной работоспособности во время занятия. Большинство занятий практикума не рассчитано на применение стационарного оборудования в связи с их проведением в самых различных аудиториях. Вместе с тем даже достаточно простые методики могут дать объективную информацию об адаптационных возможностях организма человека.

Выделенные параметры адаптации несут интегральную информацию об особенностях ее морфофункциональной организации и проявляются не в случайных (эпизодических) взаимодействиях со средой, а отражают достаточно устойчивую, типичную индивидуальную манеру компенсаторно-приспособительной реакции организма студентов в ответ на действие стрессоров [11, 15].

Таким образом, результаты комплексного исследования являются основой дифференцированного подхода для разработки мероприятий по первичной профилактике заболеваний и охране здоровья студентов. Установлены сравнительные особенности адаптивных реакций структурно-функционального статуса студентов. Адекватность течения адаптационных процессов студентов имеет информативные морфофункциональные показатели, которые проявляются в низкой выраженности умственного и функционального утомления, низком и среднем уровнях тревожности у студентов, оптимальном уровне напряженности работы сердечно-сосудистой системы (симпатотония).

Показано, что процесс фенотипической адаптации студентов предопределяется региональными экологическими факторами, отражается на уровне заболеваемости. Осуществлена оценка эффективности профилактических мероприятий по предупреждению истощения адаптационных возможностей организма при действии на него совокупности экологических факторов и адекватной корректировки методических подходов к нормированию функциональных резервов организма и восстановлению его здоровья.

Разработаны и обоснованы неинвазивные методические приемы психофизиологического и морфометрического контроля адаптационных процессов в студенческих коллективах, которые открывают новые возможности для исследования в этом направлении. Полученные данные могут быть использованы для профилактики дезадаптационных состояний в практической биологии и медицине. Комплексное исследование расширяет представления об адаптации организма к внешним условиям среды обитания и может стать основой для эффективного мониторинга здоровья человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агаджанян Н.А., Марачев А.Г., Бобков Г.А. Экологическая физиология человека. — М.: Крук, 1998. — 416 с.
2. Бадиков К.Н. Психодерматоглифика: понятие, система, методики. — Владивосток: Знание, 2011. — 224 с.
3. Баевский Р.М. Оценка адаптационных возможностей организма и риск развития заболеваний / Р.М. Баевский, А.П. Берсенева. М.: Медицина, 1997. — 235 с.
4. Баранов В.С., Баранова Е.В., Иващенко Т.Э. и др. Геном человека и гены «предрасположенности» // Введение в предиктивную медицину. — СПб.: Интермедика, 2000. — 272 с.
5. Гладкова Т.Д. Кожные узоры кисти и стопы обезьян и человека. — М.: Наука, 1966. — 149 с.
6. Губарева Л.И. Экология человека: практикум для вузов. — Ставрополь, 2003. — 137 с.
7. Инге-Вечтомов С.Г. Влияние экологических отношений на генетические процессы // Вестник Санкт-Петербургского университета. — Сер. 3. Биология. — 1999. — Вып. 4. — № 24. — С. 14–31.

8. Казин Э.М., Иванов В.И., Литвинова Н.А. и др. Влияние психофизиологического потенциала на адаптацию к учебной деятельности // Физиология человека. — Т. 28. — № 3. — 2002. — С. 23–29.
9. Казначеев В.П., Казначеев С.В. Адаптация и конституция человека. — Новосибирск, 1986. — 148 с.
10. Михайлова С.В., Кузмичев Ю.Г. Физиологические особенности адаптивных реакций организма // Журнал фундаментальной медицины и биологии. — 2018. — № 3. — С. 24–38.
11. Никитюк Б.А. Соотношение общего, частного и регионального в учении о конституции человека // Новости спортивной и медицинской антропологии. — 1990. — Вып. 2. — С. 8–16.
12. Панкова Н.Б. Механизмы срочной и долговременной адаптации // Патогенез. — 2020. — Т. 18. — № 33. — С. 77–86.
13. Сейфулина Г.В. Особенности психофизиологической адаптации к онкологическим заболеваниям // Наука и бизнес: пути развития. — 2015. — № 9(51). — С. 83–86.
14. Сейфулина Г.В. Профессиональное здоровье педагога: ретроспектива и современное состояние вопроса: монография. — Ч. 1. — Ставрополь: Бюро новостей, 2013. — 128 с.
15. Селье Г. Очерки об адапционном синдроме. — М.: Медгиз, 1960. — 254 с.
16. Снежинский В.А. Оценка адапционных реакций организма больных с нормальной и нарушенной функцией синусного узла в условиях ортоклиностатического стресс-теста // Кардиология. — 2005. — № 8. — С. 47–49.
17. Электрпунктурная диагностика по методу И. Накатани: методические рекомендации / под ред. Н.А. Гаврилова и др. — М., 2002.

© Сейфулина Галина Владимировна (seif.gala@mail.ru); Друп Виктория Демировна (sylvia_vica@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРВИЧНОЙ ПРОФИЛАКТИКИ УПОТРЕБЛЕНИЯ ПСИХОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ СРЕДИ ПОДРОСТКОВ

PHYSIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL-PEDAGOGICAL ASPECTS PRIMARY PREVENTION OF SUBSTANCE USE AMONG TEENAGERS

G. Seifulina
G. Stroy

Summary. Comprehensive physiological, psychological-pedagogical, socio-psychological diagnosis of students was carried out for a tendency to use psychoactive substances and addictive behavior. The basic principles that must be considered when implementing educational processes in classes to prevent the use of surfactants have been identified.

Keywords: health, prevention, adolescents, physiology, education.

Сеифулина Галина Владимировна

кандидат биологических наук, ВРИО заведующий кафедрой, доцент, ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт»
seif.gala@mail.ru

Строй Галина Владимировна

кандидат психологических наук, доцент, ГБОУ ВО «Ставропольский государственный педагогический институт»
galina.stroi@mail.ru

Аннотация. Проведена комплексная физиологическая, психолого-педагогическая, социально-психологическая диагностика обучающихся на предмет склонности к употреблению ПАВ и аддиктивному поведению. Определены основные принципы, которые необходимо учитывать при реализации образовательных процессов на занятиях по профилактики употребления ПАВ.

Ключевые слова: здоровье, профилактика, подростки, физиология, образование.

Проблема здоровья, связанного с наркоманией и формирования здорового образа жизни среди подростков, является не просто чрезвычайно важной, но и одной из ключевых для всей нашей страны и мира.

Незаконный оборот наркотических средств и связанные с ним социальные, криминальные, экономические, медицинские и педагогические аспекты превратились в одну из самых актуальных, трудноразрешимых проблем современности.

В сфере образования приоритетным направлением в решении проблем, связанных с формированием негативной зависимости, является профилактика. Применительно к профилактике наркомании необходимо учитывать многоаспектность этого явления и вытекающую из этого сложность установления систем профилактических мероприятий. Современные общеобразовательные организации в своей деятельности, стремятся к единству воспитательного и образовательного процесса [5, 12]. Образовательные организации играют ведущую роль в организации недисциплинированного поведения учащихся, морально-этических нарушений и организации санитарно-просветительской работы по профилактике курения, алкоголизма и наркомании [1, 11].

Под профилактикой понимают любые мероприятия, направленные на предотвращение злоупотребления

психоактивных веществ (ПАВ) и снижение негативных социальных последствий и вреда для здоровья. Это широкое понятие может включать действия, направленные на ограничение предложения (исходя из того принципа, что сокращение предложения наркотиков ограничивает возможности злоупотребления и зависимости) и спроса, включая укрепление здоровья и профилактику заболеваний [2, 10].

Профилактика как средство предупреждения злоупотребления ПАВ предполагает воспитание психически здоровой, развитой личности, способной самостоятельно справляться со своими психологическими трудностями и жизненными проблемами без потребности в ПАВ

В данной работе мы ведем речь о первичной профилактике употребления ПАВ как одного из элементов в рамках целостного учебно-воспитательного процесса в школе.

Нами использовались методики:

- экспресс-диагностика алкоголизма и наркомании у подростков (Тест в модификации А.Ю. Егоровой, 1984);
- тест-опросник «Аддиктивная склонность» (Юсупов В.В., Корзунин В.А.);
- методика электропунктурной диагностики по Накатани.

В исследовании приняли участие 283 подростка школ г. Ставрополь. Возраст обследуемых составил 13–15 лет, средний возраст 13,1±0,3 года.

Входное анкетирование проводилось анонимно, исключительно при соблюдении принципа добровольности и имело целью исследовать комплекс критериев, влияющих на степень отношения подростков к наркомании, а также определить наиболее эффективные формы профилактической работы с детьми группы риска.

По результатам анкетирования было выявлено, что у 92 % школьника с контрольной группы не выявлен риск зависимого поведения. Но при этом, 31 % подростков из экспериментальной группы имеют повышенный риск формирования химической зависимости, это почти в 4 раза выше, чем в контрольной группе (рисунок 1).

Схожая картина выявляется и по результатам опросника «Аддиктивная склонность» (В.В. Юсупов, В.А. Корзунин). У 69 % и 83 % подростков 1 и 2 групп соответственно риск зависимого поведения не выражен. При этом у 23 % обучающихся 1 группы умеренно выраженный риск зависимого поведения, а во 2 группе составляет 17 %. Следует отметить, что во 2 группе у 8 % подростков имеются выраженные признаки склонности к зависимому поведению, у контрольной группы данный показатель не выявлен (рисунок 2).

По результатам экспресс-теста «Изучение характера отношения подростков к наркомании», мы выявили, что

чёткое сформированное отношение к негативному употреблению наркотиков имеют оба класса: 77 % 1 группы и 83 % 2 группы, но позитивное отношению к употреблению наркотиков имеют 23 % 1 группы и 17 % 2 группы (рисунок 3).

Результаты анкетирования и экспресс-теста выявили 8 % подростков в экспериментальной группе по предрасположенности к аддиктивному поведению. В контрольной группе таких обучающихся выявлено только 3 человека. Утверждать с уверенностью, что данная категория подростков употребляет психоактивные вещества нельзя, т. к. не было проведено специальное медицинское обследование, но с учетом социально-психологического заключения (анализ социальной карты семьи), можно данных школьников условно отнести к «группе риска» (таблица 1).

Следующий этап работы был посвящён выявлению корреляционных связей между результатами анкетирования и специального психофизиологического обследования — электропунктурной диагностики по Накатани на приборе Арм-Пересвет, который позволяет осуществить оценку функционального состояния отдельных органов и организма в целом, в том числе и психоэмоционального состояния человека.

Категория подростков в количестве 9 человек нами была обследована с помощью прибора Арм-Пересветна предмет психоэмоционального статуса.

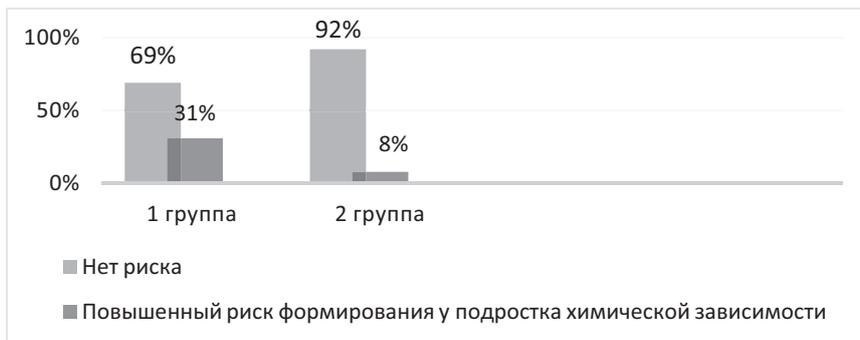


Рис. 1. Экспресс-диагностика алкоголизма и наркомании у подростков (Тест в модификации А.Ю. Егоровой, 1984)

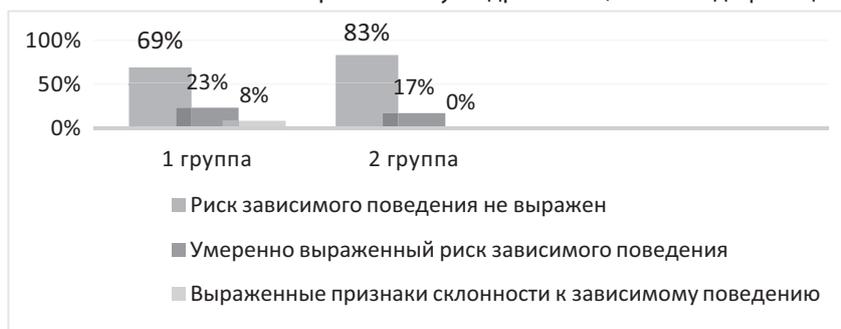


Рис. 2. Тест-опросник «Аддиктивная склонность» (Юсупов В.В., Корзунин В.А.)

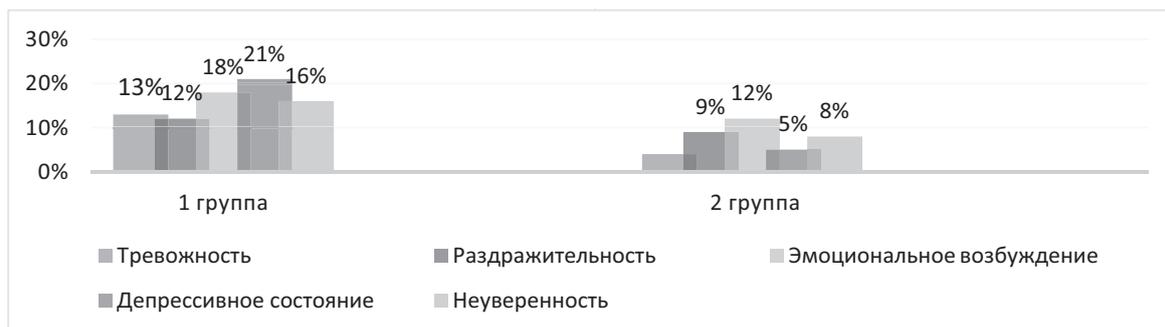


Рис. 3. Результаты диагностики по Накатани (психофизиологический и психоэмоциональный статус)

Таблица 1.
Результаты диагностики аддиктивного поведения подростков

Экспресс-диагностики	Количество подростков (чел.) в процентах (%)	
	1 группа (контрольная группа) — 169 чел.	2 группа (экспериментальная группа) — 114 чел.
Экспресс-диагностика алкоголизма и наркомании у подростков (Тест в модификации А.Ю. Егоровой, 1984)		
Нет риска	92 %	69 %
Повышенный риск формирования химической зависимости	8 %	31 %
Тест-опросник «Аддиктивная склонность» (Юсупов В.В., Корзунин В.А.)		
Риск зависимого поведения не выражен	83 %	69 %
Умеренно выраженный риск зависимого поведения	17 %	23 %
Выраженные признаки склонности к зависимому	0	8 %

Электропунктурная диагностика по И. Накатани относится к методу функциональных исследований. Через оценку состояния акупунктурных меридианов путем измерения электропроводности репрезентативных точек можно определить функциональное состояние отдельных внутренних органов и систем организма в целом.

По И. Накатани, любые изменения во внутренних органах отражаются на электрических характеристиках кожи. Из этого следует, что параметры электропунктурных измерений в определенных точках могут являться чувствительными индикаторами этих изменений, сигнализируя о патологии. Автор объясняет это явление с помощью висцерокожного симпатического рефлекса. Хорошо известно, что проводимость кожи зависит в первую очередь от состояния симпатического отдела вегетативной нервной системы. Следует подчеркнуть,

что при определении меридионального статуса вместо использования абсолютных значений кожных проводимостей репрезентативных точек используются их положения относительно нормальных коридоров на карте.

Обследование одного подростка занимает менее 5 минут, безвредно, безболезненно, неинвазивно, не требует применения каких-либо реактивов или препаратов. Полученные результаты заносятся в специальную карту.

В результате обследования были подтверждены результаты анкетирования о неблагоприятном психоэмоциональном состоянии подростков и формировании зависимого поведения. Из 9 показателей, 5 выявили высокий процент в исследуемой группе подростков (рисунок 3)

На наш взгляд, это связано с неблагоприятным социальным статусом семьи данных подростков, т. к. доминирующую позицию в формировании зависимого поведения, особенно в подростковой группе, занимают алкоголизация родителей и неблагоприятный психологический климат в семье. Возможно, сюда подключаются и другие причины: возрастными этапами, характерными для подросткового возраста, которые способны повлиять на знакомство ребёнка с наркотиками; ошибками семейного воспитания, нарушениями взаимоотношений в семье.

При этом необходимо понимать, что результаты, полученные в результате проведения диагностики, не могут быть использованы для формулировки заключения о наркотической или иной зависимости респондента, а только предрасположенность к аддикции и, возможно, проявление признаков стресс-реакции.

Проделанная психологами, социальными педагогами и учителями школ профилактическая деятельность вредных привычек у подростков «группы риска» представляет собой систему мер, которая в первую очередь предупреждает возникновение и развитие деструктивных изменений в структурах личности и поведении. Она формирует устойчивый психологический иммунитет к негативным влияниям на личность из вне и обеспечи-

вает возможность самореализации за счет окружающих его социальных возможностей.

Занятия для подростков были направлены на идеи актуализации информации о возможных формах поведения в сложных, проблемных ситуациях и желании понять, какие выходы являются неконструктивными, не дающими возможность решить проблемы, и даже опасными, а какие способы реально позволяют справиться со сложностями.

Для более эффективной работы по профилактике употребления психоактивных веществ необходимо учитывать особенности подросткового возраста как фактора риска формирования аддиктивного поведения.

Повторное анкетирование проводилось анонимно, после проведения тренингов, внеклассных мероприятий.

По результатам экспресс-диагностики алкоголизма и наркомании у подростков в 1 группе не выявлен риск зависимого поведения у 77 % учеников и 92 % во 2 группе, но при этом, у 23 % и 8 % подростков двух классов имеется повышенный риск формирования химической зависимости, что свидетельствует о положительной динамике по сравнению с входным анкетированием (рисунок 4).

Снизился риск зависимого поведения у подростков на 8 % и увеличился показатель — риск зависимого поведения не выражен соответственно на 8 %, в то время

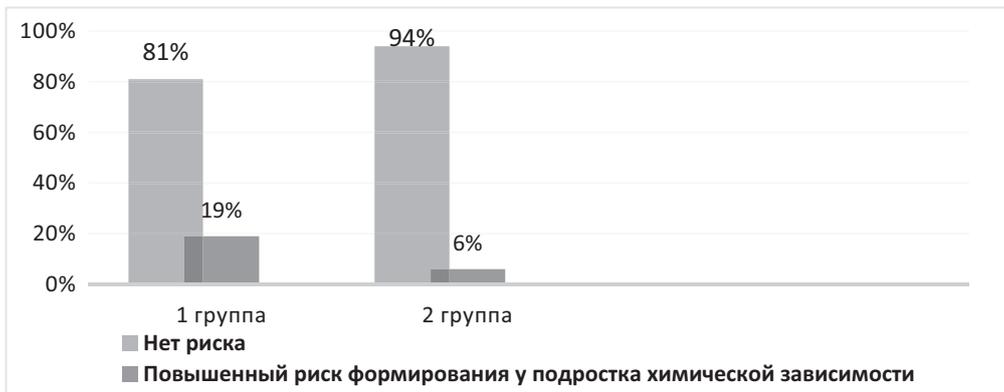


Рис. 4. Экспресс-диагностика (повторная) алкоголизма и наркомании у подростков (Тест в модификации А.Ю. Егоровой, 1984)

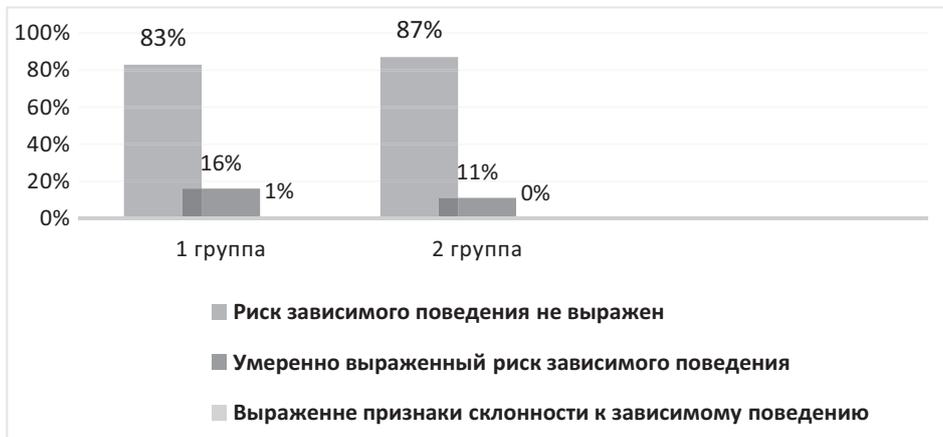


Рис. 5. Тест-опросник (повторно) «Аддиктивная склонность» (Юсупов В.В., Корзунин В.А.)

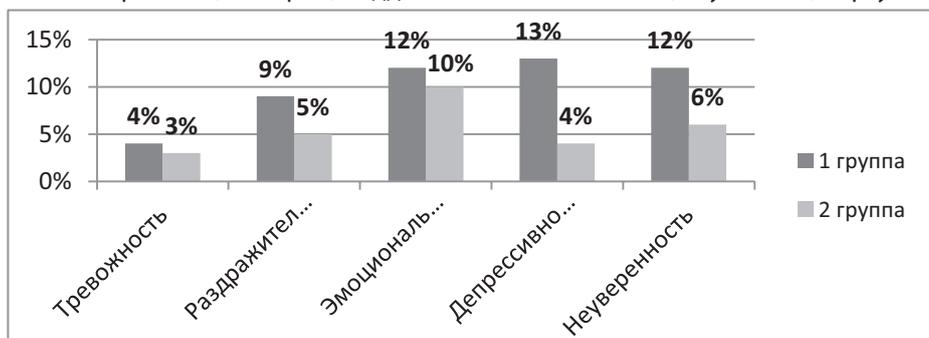


Рис. 6. Результаты диагностики (повторно) по Накатани (психофизиологический и психоэмоциональный статус)

как выраженный признак склонности к зависимому поведению остался без изменений (рисунок 5).

Заключительный этап работы выходного контроля был посвящён сравнению результатов анкетирования и специального психофизиологического обследования — электропунктурная диагностика (рисунок 6).

Нами с использованием психофизиологического подхода охарактеризованы индивидуально-типологические и личностные качества подростков, склонных к аддикции.

Выявлена структура внутрисистемных взаимосвязей психофизиологических и личностных параметров у подростков, включающая в себя преобладание активации правого полушария, снижение быстроты реагирования и ухудшение динамики нервных процессов, нарушение регуляции и контроля протекания психической деятельности, а также демонстративные, истероидные, тревожные, лабильные и агрессивные черты.

Повышенный риск формирования интереса к употреблению ПАВ в 1 группе снизился на 12 % по сравнению с входным анкетированием (рисунок 7).

По результатам теста-опросника «Аддиктивная склонность» в экспериментальной группе снизился риск зависимого поведения у подростков на 7 %. В контрольной группе типичные изменения, но незначительные (рисунок 8).

В результате обследования были подтверждены результаты анкетирования о неблагоприятном психоэмоциональном состоянии подростков и формировании зависимого поведения. Из 11 параметров психоэмоционального стресса мы выделяем 5, которые ярко выражены среди подростков экспериментальной групп.

После проведения профилактических мероприятий данные признаки нивелируются. У подростков «стираются» такие признаки в поведении как тревожность, эмоциональное возбуждение, раздражительность, депрессивное состояние, неуверенность (рисунок 9).

На наш взгляд, полученные данные, представленные на рисунках 7, 8, 9 свидетельствуют об эффективности профилактики употребления ПАВ среди подростков в условиях образовательной организации, связанной с систематической работой всех сотрудников школы

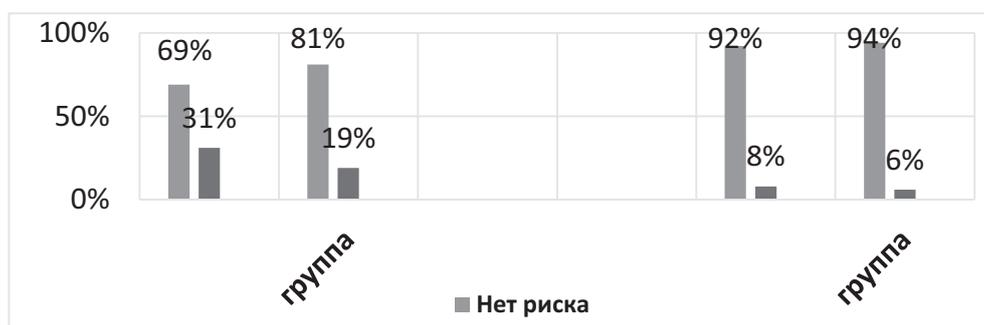


Рис. 7. Критерии оценки результативности проведенных мероприятий по профилактике употребления ПАВ среди подростков по экспресс-диагностики алкоголизма и наркомании у подростков

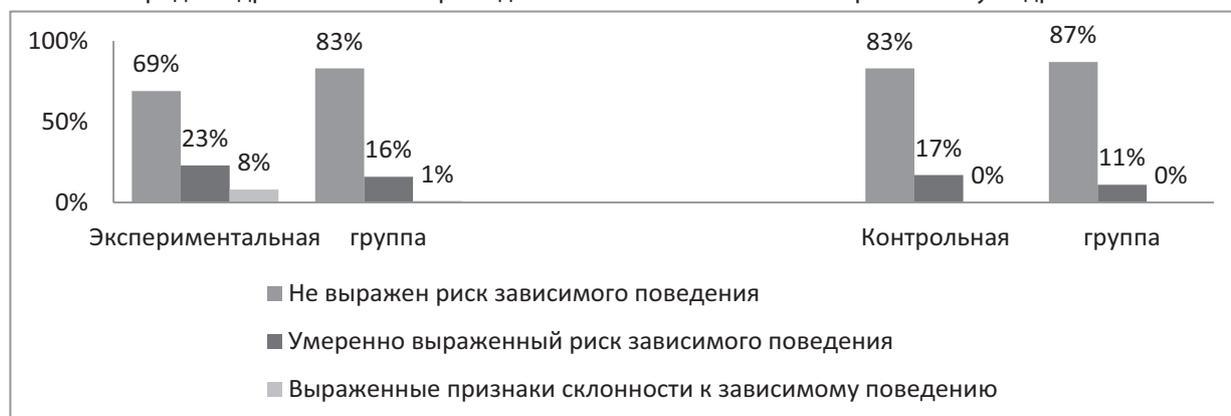


Рис. 8. Критерии оценки результативности проведенных мероприятий по профилактике употребления ПАВ среди подростков по Тесту-опроснику «Аддиктивная склонность»

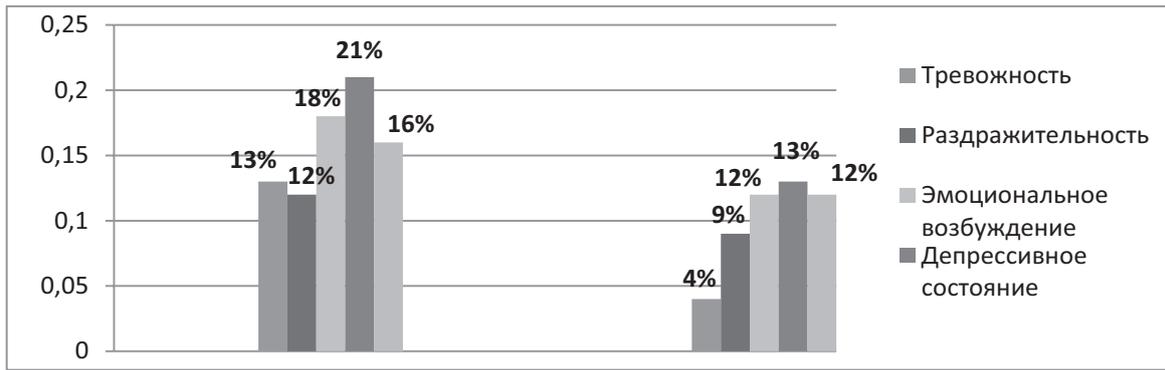


Рис. 9. Критерии оценки результативности проведенных мероприятий по профилактике употребления ПАВ среди подростков по методике Накатани

(администрация, завуч по воспитательной работе, учителя-предметники, социальный педагог, психолог, педагог-организатор, классный руководитель, медицинский работник и др.) по формированию у обучающихся установок на здоровый образ жизни и нивелированию признаков стрессовых реакций. Роль учителя ОБЖ в профилактике вредных привычек у подростков — одна из существенной в этой системе (таблица 2).

Неправильное воспитание, неблагополучные и неполные семьи, отсутствие родительского контроля, низкие ожидания и нереализованные семейные возможности играют важную роль в формировании аддиктивного поведения. Основная задача работы с подростками с эмоциональными и поведенческими расстройствами заключается в облегчении их приспособления к окружающему миру, осознания ими зеркального мира и выбора безопасных способов взаимодействия с ним. Подростки уязвимы перед многими вредными социальными и биологическими факторами из-за незрелости основных нервных процессов, а также нестабильности психологических и личностных категорий, которые нарушают и наносят вред нормальному формированию поведения [2, 3, 6]. Единое информационное интернет-пространство делает человека более открытым и зависимым от окружающего общественного мнения. Подростки не всегда знают, как реагировать на разные ситуации в прямом общении, и не всегда знают, как их использовать. Эта ситуация вызывает беспокойство у многих из них, чтобы ассимилироваться в обществе без надлежащих навыков общения. Кроме того, существует особый класс подростков, приобретающих в раннем детстве негативный социальный опыт, последствия которого серьезно сказываются на всей их дальнейшей жизни. Неспособные противостоять негативному влиянию внешнего мира, для них характерно отклонение от социализации: от неспособности адаптироваться в новых условиях до проявления различных девиантных форм поведения [8, 9].

Чрезвычайно важна правильная организация занятий по профилактике употребления ПАВ, которая на-

Таблица 2.

Критерии оценки результативности проведенных мероприятий по профилактике употребления ПАВ на уроках ОБЖ и во внеурочной деятельности

Экспресс-диагностики	Количество подростков (чел.) в процентах (%)			
	контрольная группа — 169 чел.		экспериментальная группа — 114 чел.	
	до эксперимента	после эксперимента	до эксперимента	после эксперимента
Экспресс-диагностика алкоголизма и наркомании у подростков (Тест в модификации А.Ю. Егоровой, 1984)				
Нет риска	92 %	94 %	69 %	81 %
Повышенный риск формирования химической зависимости	8 %	6 %	31 %	19 %
Тест-опросник «Аддиктивная склонность» (Юсупов В.В., Корзунин В.А.)				
Риск зависимого поведения не выражен	83 %	87 %	69 %	83 %
Умеренно выраженный риск зависимого поведения	17 %	11 %	23 %	16 %
Выраженные признаки склонности к зависимому	—	—	8 %	1 %
Диагностика психофизиологического состояния — Электропунктурная диагностика по Накатани				
Признаки аддикции, стресс-реакции	контрольная группа		экспериментальная группа	
	до эксперимента	после эксперимента	до эксперимента	после эксперимента
Тревожность	12 %	3 %	1 %	1 %
Раздражительность	10 %	8 %	2 %	1 %
Эмоциональное возбуждение	15 %	10 %	3 %	2 %
Депрессивное состояние	18 %	11 %	3 %	2 %
Неуверенность	14 %	11 %	2 %	1 %

прямую влияет на эффективность проводимых занятий. В этом контексте хотелось бы выделить несколько основных принципов, которые необходимо учитывать при реализации образовательных процессов на занятиях по профилактике употребления ПАВ.

Прежде всего, хотелось бы обратить внимание на господствующее и укоренившееся в нашей стране в целом, особенно в системе образования, представление о том, что идея профилактики наркомании на основе запретительных, запугивающих мер, использование которых, как показала практика, не может положительно воздействовать на молодежь, она лишь акцентирует внимание на негативном контексте проблемы. При этом социо-

культурные факторы, влияющие на популяризацию наркотических средств, специфика современной ситуации и социальные установки современного молодого поколения зачастую остаются вне поля зрения педагогов.

Именно поэтому актуальной задачей становится проведение профилактической работы в подростковой среде через систему мероприятий: диагностика среди подростков на предмет выявления обучающихся «групп риска»; проведение уроков с использованием активных методов обучения; проведение внеучебной деятельности; индивидуальная работа с подростками «группы риска»; разработка методических рекомендаций по профилактике употребления ПАВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Велищева М.М. Ранняя профилактика наркотизма: проблемы и подходы к их решению / М.М. Велищева, Л.Н. Рыбакова, М.Г. Цеткин. — М.: педагогика, 1997. — 317 с.
2. Верминенко Ю.В. Технологии социальной работы по профилактике наркомании в подростковой среде / Ю.В. Верминенко, В.Н. Келасев // Проблемы социальной работы: сб. статей. — СПб, 2003. — 211 с.
3. Гербет О.И. Психология девиантного поведения: учебно-методическое пособие к спецкурсу / О.И. Гербет; науч. ред. А.Ю. Арутюнян. — Бийск: Алтайская гос. академия образования им. В.М. Шукшина, 2013. — 65с.
4. Колесникова, Г.И. Девиантология: учебник и практикум для вузов / Г.И. Колесникова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2023. — 161 с.
5. Ляко Е.Е. Возрастная физиология и психофизиология: учебник для вузов / Е.Е. Ляко, А.Д. Ноздрачев, Л.В. Соколова. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 396 с.
6. Петрова, Е.Г. Психологический портрет подростков, входящих в «Группу риска» по возникновению наркотической зависимости / Е.Г. Петрова, О.А. Холина // Вестник Таганрогского института имени А.П. Чехова. — 2022. — № 1. — 402 с.
7. Профилактика социальных зависимостей подростков: учебное пособие для вузов / С.В. Воробьева [и др.]; под редакцией М.А. Мазниченко, Н.И. Нескоромных. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 227 с.
8. Сейфулина Г.В. Комплексная донозологическая экспресс-диагностика состояния здоровья студентов педагогического вуза: монография. — Ставрополь: Изд-во «Тимченко», 2022. — 90 с.
9. Сейфулина Г.В. Эколого-психофизиологическая адаптация студентов педагогического вуза к условиям обучения: монография. — Ставрополь: Изд-во «Тимченко», 2023. — 81 с.
10. Циркин В.И. Нейрофизиология: основы психофизиологии: учебник для вузов / В.И. Циркин, С.И. Трухина, А.Н. Трухин. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 577 с.
11. Чикенева И.В. Педагогические условия формирования у обучающихся потребности к здоровьесбережению / И.В. Чикенева // Образование и личность: методологические и прикладные основания: сборник статей к Международному научно-практическому форуму «Территория спорта, здоровья и безопасности жизнедеятельности» — Оренбург: Типография «Экспресс-печать», 2020. — С. 218–224.
12. Шнейдер Л.Б. Психология девиантного и аддиктивного поведения детей и подростков: учебник и практикум для вузов / Л.Б. Шнейдер. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2024. — 219 с.

© Сейфулина Галина Владимировна (seif.gala@mail.ru); Строй Галина Владимировна (galina.stroi@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РОЛЬ ВЕТЕРИНАРИИ В СОХРАНЕНИИ БИОРАЗНООБРАЗИЯ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ

VETERINARY ROLE IN THE BIODIVERSITY CONSERVATION. ENVIRONMENTAL CHALLENGES

S. Trunova
S. Nurmagomedova
E. Musinova
Z. Rashkueva
G. Musalov

Summary. This article examines the role of veterinary medicine in the conservation of biodiversity and environmental protection. Environmental challenges associated with livestock farming activities, such as waste pollution and the spread of infections among wild animals, are discussed. The impact of livestock farming on nature is analyzed and measures to reduce the negative impact are proposed. The role of veterinarians in controlling wildlife diseases, conducting research, and acting to conserve biodiversity is examined. The authors call for collaboration between ecologists, veterinarians, and other stakeholders to ensure the sustainability of ecosystems and preserve nature for future generations.

Keywords: ecology, biodiversity, veterinary medicine, environmental protection, pollution, animal husbandry, infections, nature conservation.

Трунова Саният Акаевна

Кандидат биологических наук, доцент,
Дагестанский государственный медицинский
университет г. Махачкала
saniatakaeva@mail.ru

Нурмагомедова Саният Гаджиевна

Кандидат медицинских наук, доцент,
Дагестанский государственный медицинский
университет г. Махачкала
nurma.san@yandex.ru

Мусинова Эльмира Мугудиновна

Кандидат биологических наук, доцент,
Дагестанский государственный медицинский
университет г. Махачкала
elmira.musinova@mail.ru

Рашкуева Заира Исмаиловна

Кандидат биологических наук, доцент,
Дагестанский государственный педагогический
университет им. Р. Гамзатова, г. Махачкала
rashkueva_afg@mail.ru

Мусалов Гамзат Шамилович

Дагестанский государственный медицинский
университет г. Махачкала
musalov.gamzat@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается роль ветеринарии в сохранении биоразнообразия и охране окружающей среды. Обсуждаются экологические вызовы, связанные с деятельностью животноводства, такие как загрязнение окружающей среды отходами и распространение инфекций среди диких животных. Анализируется влияние животноводства на природу и предлагаются меры по уменьшению негативного воздействия. Рассматривается роль ветеринаров в контроле за заболеваниями диких животных, проведении исследований и принятии мер для сохранения биоразнообразия. Авторы призывают к взаимодействию между экологами, ветеринарами и другими заинтересованными сторонами с целью обеспечения устойчивости экосистем и сохранения природы для будущих поколений.

Ключевые слова: экология, биоразнообразие, ветеринария, охрана окружающей среды, загрязнение, животноводство, инфекции, сохранение природы.

В настоящее время все больше и больше людей задумывается о важности охраны окружающей среды и сохранения биоразнообразия. С годами влияние человечества на природу только усиливается, в том числе и благодаря различным видам проводимой деятельности, включая животноводство [6]. Животноводство играет важную роль в экономике и обеспечивает продовольствием многих людей, но его воздействие на окружающую среду является довольно значительным. Проблема загрязнения воды и почвы отходами жи-

вотноводства является одной из серьезнейших экологических проблем. Выброс большого количества сточных вод и животноводческих отходов в окружающую среду приводит к загрязнению водных ресурсов и почвы, что может негативно сказываться на биоразнообразии в районах, где осуществляется данная деятельность [9, с. 36].

Кроме того, домашние животные могут быть носителями и распространителями инфекционных заболе-

ваний среди дикой фауны. Это создает угрозу для сохранения биоразнообразия, поскольку ослабленные болезнями животные становятся более уязвимыми перед хищниками или неблагоприятными условиями окружающей среды. Распространение заболеваний также может сильно сократить популяцию диких животных и нарушить связи экосистемы [11, с. 10].

Ветеринария играет главную роль в решении этих проблем. Ветеринары осуществляют мониторинг состояния здоровья и предпринимают профилактические меры, тем самым предотвращая распространение инфекционных заболеваний, занимаются реабилитацией больных или травмированных животных, помогая им вернуться в свою естественную среду обитания.

Специалисты-ветеринары также активно участвуют в проведении научных исследований, направленных на выявление причин угроз дикой природе и разработку методов ее защиты. Эти исследования помогают разработать эффективные стратегии и планы действий для сохранения биоразнообразия. Согласно данным Ф.Х. Абдуллаева Ф.Х. и К.И. Байметова, в научно-исследовательском институте генетических ресурсов растений ученые занимаются проблемами устойчивого развития экологически безопасного сельского хозяйства [1, с. 65].

Существует множество примеров успешных проектов с участием ветеринаров, направленных на сохранение биоразнообразия. В Российской Федерации такие проекты регулируются федеральными законами № 7 «Об охране окружающей среды» [14], № 89 «Об отходах производства и потребления» [13], № 109 «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» [12], № 174 «Об экологической экспертизе» [16], № 243 «О ветеринарии» [15]. Одним из таких проектов являются программы вакцинации диких животных от опасных инфекционных заболеваний. Вакцинирование помогает предотвратить распространение болезней среди животных, улучшая их иммунитет и способствуя сохранению биоразнообразия. Другим примером является реабилитация пострадавших от стихийных бедствий животных с целью вернуть их в естественную среду обитания [5].

Важно понимать, что сохранение биоразнообразия — задача не только властей и одного сектора экономики, но и всего общества. Каждый может внести свой вклад в защиту окружающей среды и биоразнообразия. В этом процессе важно наличие и развитие взаимодействия между экологами и ветеринарами, а также другими заинтересованными сторонами. Для решения проблем загрязнения окружающей среды, связанных с деятельностью животноводства, необходимо принятие комплексных мер. По мнению А.А. Алексеева и Н.А. Бородиной одним из важных аспектов является разработка и строгое соблюдение экологических стандартов и норм

для функционирования животноводческих хозяйств, что подразумевает применение специальных технологий обращения с отходами, что, в свою очередь, может минимизировать загрязнение окружающей среды [2, с. 16].

Согласно исследованию Б.А. Воронина, И.П. Чупиной и Я.В. Ворониной человек, как биосоциальное существо, не всегда ответственно относится к сохранению объектов природы. Наряду с промышленными предприятиями, при несоблюдении экологических норм и правил, загрязнение атмосферного воздуха, земельных, водных, лесных и других объектов природы и окружающей среды может осуществляться в результате сельскохозяйственной деятельности. В связи с этим, особая роль в экологизации аграрного производства отводится человеческому капиталу — кадрам, работающим в сельскохозяйственных организациях и пищевых предприятиях, которые обязаны соблюдать и выполнять в процессе хозяйственной деятельности экологические требования, установленные экологическим законодательством [3, с. 21].

Однако, введение только этих мер может быть недостаточным. Для успешной борьбы с проблемой необходимо обучать владельцев ферм методам управления отходами и рационального использования ресурсов, что может гарантировать работу животноводческих хозяйств в соответствии с экологическими нормами без создания излишней нагрузки на окружающую среду. Специально для этого были разработаны меры правового обеспечения экологической, биосферной и генетической безопасности в системе национальной безопасности Российской Федерации [8, с. 96].

Взаимодействие между учеными, ветеринарами, экологами и другими специалистами является важным аспектом в решении этой проблемы. Только совместными исследованиями и внедрением инновационных подходов можно достичь снижения негативного воздействия отходов животноводства на окружающую среду. Применение современных биотехнологий, использование возобновляемой энергии и повышение эффективности производства помогают сократить негативные последствия.

В этом процессе большую роль играют специалисты-ветеринары. Они занимаются предотвращением распространения болезней среди животных, контролируют и поддерживают их здоровье, а также помогают снизить негативное влияние на окружающую среду. Ветеринары осуществляют профилактику, диагностику и лечение заболеваний, а также регулярно проводят проверки и обследования животноводческих хозяйств, чтобы выявить и предотвратить любые возможные проблемы, которые могут повлиять на окружающую среду.

В целом, решение проблем загрязнения окружающей среды, вызванных деятельностью животноводства, требует комплексного подхода, включающего разработку и соблюдение экологических стандартов, обучение владельцев ферм, взаимодействие между различными специалистами, активное участие государственных органов, а также роль ветеринарии в управлении этими проблемами. Только совместными усилиями можно достичь успеха в сохранении окружающей среды и биоразнообразия экосистем. Помимо этого, также важно проводить образовательные и информационные кампании, направленные на повышение осведомленности общественности о проблемах, связанных с отходами животноводства, и о необходимости принятия нужных мер.

Процесс животноводства является источником значительного количества отходов, которые могут попасть в природу и загрязнить воду и почву. Микроорганизмы, антибиотики, гормоны роста и другие химические вещества, используемые в животноводстве, могут оказать негативное воздействие на экосистемы водоемов и почвенных ресурсов. Это может привести к ухудшению качества воды, отравлению организмов и нарушению экологического баланса.

Контроль за здоровьем животных и профилактика их заболеваний также играют важную роль в предотвращении распространения инфекций и болезней. Согласно исследованию Е.В. Ерофеева, Ю.А. Суркова и А.В. Шубкиной регулярные ветеринарные обследования, вакцинация и соблюдение стандартов гигиены на фермах помогают минимизировать риск передачи болезней от домашних животных к диким [7, с. 496]. Совместные усилия государственных органов, научных исследователей, животноводов и организаций по охране природы могут способствовать разработке и реализации эффективных программ по контролю за здоровьем животных.

Необходимость бережного использования природных ресурсов и сохранения биоразнообразия призывает к устойчивому подходу к развитию животноводства. По мнению Г.Н. Огуреевой принятие сбалансированных решений по вопросам местообитаний диких видов, управлению отходами и контролю за здоровьем животных позволит сохранить экологическое равновесие и обеспечить устойчивое развитие как животноводства, так и всей окружающей среды [10].

В целом, загрязнение окружающей среды, вызванное отходами животноводства, является серьезным вызовом для биоразнообразия и требует неотложных мер для минимизации негативного воздействия на природу.

Ветеринария играет ключевую роль в поддержании биоразнообразия и охране окружающей среды. Врачи-ветеринары не только следят за здоровьем домашних

животных, но и проводят вакцинацию и мониторинг здоровья диких животных, помогая предотвращать распространение болезней. Они также участвуют в исследованиях, изучающих влияние отходов животноводства на окружающую среду, и разрабатывают меры по уменьшению его влияния на природу.

Одной из важнейших задач ветеринаров является обеспечение контроля за распространением инфекций и болезней среди диких животных. Многие заболевания могут передаваться через контакт с домашними животными, что представляет опасность для дикой фауны.

Взаимодействие ветеринаров с экологами, животноводами и государственными органами направлено на разработку и внедрение мер для снижения отрицательного воздействия отходов животноводства на окружающую среду [4]. В целом, ветеринария играет важную роль в сохранении биоразнообразия, охране окружающей среды и обеспечении здоровья дикой природы. Для достижения этих целей необходимо продолжать развивать научные и технологические инновации в области ветеринарной медицины, а также совершенствовать обучение и повышение квалификации специалистов в этой области. Только таким образом можно обеспечить эффективное управление здоровьем животных и сохранить биоразнообразие нашей планеты.

Кроме того, важно осознавать взаимосвязь между здоровьем животных, здоровьем людей и состоянием окружающей среды. Меры по профилактике заболеваний животных позволят снизить риск передачи инфекций от животных к людям, что в свою очередь повысит показатели здоровья и благополучия.

Инфекционные заболевания, подобные бруцеллезу и туберкулезу, могут вызвать серьезные угрозы для общественного здоровья, поэтому контроль передачи таких заболеваний от животных людям — это важная задача ветеринарной медицины. Современные технологии занимают ключевое место в разработках новых методов ветеринарной медицины. Они позволяют ветеринарам применять новые методы диагностики, лечения и профилактики, что способствует более эффективной борьбе с различными заболеваниями у животных и сохранению здоровья животных популяций.

Однако, в свете постоянно возникающих угроз биоразнообразию, необходимо постоянно развивать и совершенствовать ветеринарную науку и практику. Это позволит эффективно реагировать на новые вызовы и угрозы, поддерживать баланс в природных экосистемах и обеспечивать устойчивость биоразнообразия. Непрерывное обучение и обмен знаниями между ветеринарами является одним из ключевых аспектов достижения этой цели.

Кроме того, взаимодействие различных специалистов, таких как экологи, животноводы и государственные организации, крайне необходимо для разработки и внедрения эффективных практик, направленных на уменьшение негативного воздействия отходов животноводства на окружающую среду. Учет экологических аспектов при проектировании и ведении животноводства позволяет минимизировать его негативное воздействие, снизить риск загрязнения почвы и воды,

а также предотвратить эрозию почвы. Целью таких практик должно быть интегрирование экологически устойчивой программы в ветеринарию и животноводство, что может включать внедрение строгих стандартов ветеринарной защиты животных, использование безопасных и эффективных лекарственных препаратов, а также предотвращение загрязнения окружающей среды отходами животноводства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев Ф.Х., Байметов К.И. Сохранение и использование мировых коллекций культурных растений и их диких сородичей // Наука и инновационное развитие. — 2021. — №4 (3). — С. 65–72.
2. Алексеев А.А., Бородина Н.А. Сохранение биоразнообразия // ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ЧТЕНИЯ-2022. — 2022. — С. 16–20.
3. Воронин Б.А., Чупина И.П., Воронина Я.В. Роль человеческого капитала в экологизации сельскохозяйственной деятельности // Аграрное и земельное право. — 2020. — №11 (191). — С. 21–25.
4. Голубев С.И. Уголовно-правовое обеспечение экологической безопасности (законодательные и доктринальные основы, классификации видов экологических преступлений и характеристика составов): дис. ... д-р юрид. наук: 5.1.4. — Казань, 2022. — 495 с.
5. Горбунов Ю.Н., Демидов А.С. Особо охраняемые природные территории Российской Федерации. Ботанические сады и дендрологические парки. — М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. — 358 с.
6. Динамика популяционных генофондов при антропогенных воздействиях / под ред. Алтухова Ю.П. М. 2004. 619 с.
7. Ерофеева Е.В., Суркова Ю.Е., Шубкина А.В. Родентициды и гибель диких животных // Успехи современной биологии. — 2021. — Т. 141. — №. 5. — С. 496–507.
8. Жаворонкова Н.Г., Агафонов В.Б. Теоретико-методологические проблемы правового обеспечения экологической, биосферной и генетической безопасности в системе национальной безопасности Российской Федерации // Lex Russica. — 2019. — №9 (154). — С. 96–108.
9. Насибов М., Марзанов Н.С., Саморуков Ю.В., Озеров М.Ю., Арилов А.Н., Лхасаранов Б.Б., Гайков В.А. Сохранение биоразнообразия животных — основа жизнеобеспечения населения мира // Ветеринарная патология. — 2007. — №1. — С. 36–39.
10. Огуреева Г.Н. и др. Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы. — 2020.
11. Полоз С.В., Стрельченя И.И. Устойчивость животных в устойчивости экосистем (обзор) // Экология и животный мир. — 2021. — №1. — С. 8–15.
12. Федеральный закон №109-ФЗ от 19.07.1997 г. «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» / Собрание законодательства РФ 1997 № 29 ст. 3510.
13. Федеральный закон №89-ФЗ от 24.06.1998 г. «Об отходах производства и потребления» / Собрание законодательства РФ 1998 г. №20, ст. 3009.
14. Федеральный закон №7-ФЗ от 10 января 2002 года «Об охране окружающей среды» / Собрание законодательства РФ. 2002. №2, ст. 133.
15. Федеральный закон №243-ФЗ от 13 июля 2015 г. «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О ветеринарии» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» / СЗ РФ 2015, № 29, ст. 4369.
16. Федеральный закон «Об экологической экспертизе» №174-ФЗ от 23 ноября 1995 г. / Собрание законодательства РФ 1995.

© Трунова Саният Акаевна (saniatakaeva@mail.ru); Нурмагомедова Саният Гаджиевна (nurma.san@yandex.ru);
Муסיнова Эльмира Мугудиновна (elmira.musinova@mail.ru); Рашкуева Заира Исмаиловна (rashkueva_afg@mail.ru);
Мусалов Гамзат Шамилович (musalov.gamzat@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПЕРВАЯ НАХОДКА И ОПИСАНИЕ PLIOPLATECARPINI (SQUAMATA, MOSASAURIDAE, PLIOPLATECARPINAЕ) ИЗ ВЕРХНЕГО МЕЛА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ, РОССИЯ

Чудакова Софья Егоровна

Исследователь, лаборатория экологии
и биомониторинга «ЭФА»,

Эколого-биологический центр «Крестовский остров»
schudakova@rambler.ru

THE FIRST RECORD AND DESCRIPTION OF PLIOPLATECARPINI (SQUAMATA, MOSASAURIDAE, PLIOPLATECARPINAЕ) FROM THE UPPER CRETACEOUS OF SARATOV REGION, RUSSIA

S. Chudakova

Summary. In this article, I describe the remains of a representative of the clade Plioplatecarpini (Squamata, Mosasauridae, Plioplatecarpinae), first discovered in Russia, the frontal bone of the mosasaur *Latoplatecarpus willistoni* (CSECh 09.2023.1–64) from a location in the quarry area near the village of Karyakino in the Tatishchevsky district of the Saratov region of the Russian Federation (Upper Cretaceous, Campanian tier, Rybushkin formation). From the frontal bones of other representatives of the well-known taxa Plioplatecarpini, the studied specimen differs in pointed posterolateral wings with a straight posterior edge in the transverse direction and a significant depression of the posterior edge from the adjacent posterior process of the parietal bone.

Previously, reliable finds of representatives of *Latoplatecarpus willistoni* were known only from North America (TMP 84.162.01 from the vicinity of Morden, southern Manitoba, Pembina, Canada, Pierre Sheil formation; AMNH 2182 from the vicinity of Mule Creek Junction, Niobrara, eastern Wyoming, USA, Pierre Sheil formation; DMNH 8769 from sediments of the North Sulphur River bank, district Hunt, Northeast Texas, USA, Ozan Formation; SDSMT 30139 from the Red Bird, Niobrara, Wyoming, USA, Pierre Sheil Formation). The specimen described in this article is of great importance for understanding the paleoecology of *Latoplatecarpus willistoni*, and significantly expands the understanding of the geographical distribution of Plioplatecarpini.

Keywords: *Latoplatecarpus willistoni*, Mosasauridae, Russellosaurina, Plioplatecarpinae, Plioplatecarpini, os frontale, mosasaurs of Russia, mosasaurs of the Saratov region, Campanian mosasaurs, Karyakino locality, Rybushkinskaya formation, frontal bone of a mosasaur, skull of a mosasaur.

Аннотация. В данной статье я описываю впервые обнаруженные в России остатки представителя клады Plioplatecarpini (Squamata, Mosasauridae, Plioplatecarpinae) — лобную кость мозазавра *Latoplatecarpus willistoni* (CSECh 09.2023.1–64) из местонахождения в районе карьера недалеко от села Карякино Татищевского района Саратовской области Российской Федерации (верхний мел, кампанский ярус, Рыбушкинская формация). От лобных костей прочих представителей известных таксонов Plioplatecarpini, изученный экземпляр отличается заостренными заднелатеральными крыльями с прямым в поперечном направлении задним краем и значительным углублением от прилегающего заглазничного отростка теменной кости. Ранее достоверные находки представителей *Latoplatecarpus willistoni* были известны только с территории Северной Америки (TMP 84.162.01 из окрестностей Моргена, южная Манитоба, Пембина, Канада, формация Пьер Шейл; AMNH 2182 из окрестностей Мул Крик Джанкшн, Ниобрара, восточный Вайоминг, США, формация Пьер Шейл; DMNH 8769 из отложений берега реки Норт Сульфур, округ Хант, северо-восточный Техас, США, формация Озан; SDSMT 30139 из отложений Ред Берд, Ниобрара, Вайоминг, США, формация Пьер Шейл). Описываемый в настоящей статье экземпляр имеет большое значение для понимания палеоэкологии *Latoplatecarpus willistoni*, и существенно расширяет представление о географическом распространении Plioplatecarpini.

Ключевые слова: *Latoplatecarpus willistoni*, Mosasauridae, Russellosaurina, Plioplatecarpinae, Plioplatecarpini, os frontale, мозазавры России, мозазавры Саратовской области, кампанские мозазавры, местонахождение Карякино, Рыбушкинская формация, лобная кость мозазавра, череп мозазавра.

Введение

Окаменелости мезозойских морских пресмыкающихся известны со всех континентов, включая Антарктиду [Bell Jr., 1997], и играют существенную роль в изучении морфологических закономерностей эволюции. Однако, наши знания об их историческом развитии, о месте в морских биоценозах мезозоя очень

неполны. Без учета роли морских рептилий также невозможен целостный палеоэкологический анализ.

Остатки мозазавров в верхнемеловых отложениях России и сопредельных территорий (Украина, Азербайджан, Казахстан и Узбекистан) обычны, однако обнаружение сколько-нибудь полных скелетов, черепов или отдельных костей, пригодных для таксономиче-

ской идентификации, крайне редко. К подобным находкам и валидным видам относятся неполный скелет *Prognathodon lutugini* (Yakovlev, 1901) из кампана Восточной Украины [Яковлев, 1905; Grigoriev, 2013], неполный череп *Mosasaurus hoffmanni* (Mantell, 1829) из верхне-маастрихтских отложений г. Пензы [Grigoriev, 2014], а также лобная кость *Clidastes propython* (Cope, 1869) из кампана Саратовской области [Григорьев и др., 2015]. Палеонтологический материал преимущественно представлен фрагментарными остатками костей черепа, посткраниального скелета и изолированными зубами, не пригодными или плохо пригодными для определения. Из изолированных костей черепа лобная кость, наряду с квадратной несет наибольшее число признаков для таксономической диагностики вида [Григорьев и др., 2015]. Однако такие находки исключительно редкие. Наиболее часто встречаемые остатки мозазаврид — это зубные коронки и позвонки.

Обнаружение лобной кости представителя семейства мозазаврид является значимой для науки находкой, позволяющей пролить свет на видовую принадлежность мозазавра, обитавшего ранее на территории современной России. Это способствует более полному пониманию состава морских экосистем мелового периода, районов обитания мозазавров, прослеживания путей их миграций в пространстве и во времени. Изучение морфологических признаков и указание систематического положения ископаемых остатков мозазавров имеет существенное значение для понимания разнообразия мозазаврид России, для установления их палеогеографического и стратиграфического распространения, а также выявления филогенитических отношений между отдельными таксонами.

В данной статье я описываю впервые обнаруженные в России остатки представителя клады *Plioplatecarpini* (Squamata, Mosasauridae, *Plioplatecarpinae*) — лобную кость мозазавра *Latoplatecarpus willistoni* (CSECh 09.2023.1–64) из местонахождения в районе карьера недалеко от села Карякино Татищевского района Саратовской области Российской Федерации (верхний мел, кампанский ярус, Рыбушкинская формация). От лобных костей прочих представителей известных таксонов *Plioplatecarpini*, изученный экземпляр отличается заостренными заднелатеральными крыльями с прямым в поперечном направлении задним краем и значительным углублением заднего края от прилегающего заглазничного отростка теменной кости.

Ранее достоверные находки представителей *Latoplatecarpus willistoni* были известны только с территории Северной Америки (TMP 84.162.01 из окрестностей Мордена, южная Манитоба, Пембина, Канада, формация Пьер Шейл; AMNH 2182 из окрестностей Мул Крик Джанкшн, Ниобрара, восточный Вайоминг, США, формация Пьер Шейл; DMNH 8769 из отложений берега реки Норт Сульфур, округ Хант, северо-восточный Техас, США, формация Озан; SDSMT 30139 из отложений Ред Берд, Ниобрара, Вайоминг, США, формация Пьер Шейл) [Konishi & Caldwell, 2011]. Описываемый в настоящей статье экземпляр имеет большое значение для понимания палеоэкологии *Latoplatecarpus willistoni*, и существенно расширяет представления о географическом распространении *Plioplatecarpini*.

Геологическая обстановка

Лобная кость *Latoplatecarpus willistoni* (CSECh 09.2023.1–64) была обнаружена в кампанских отложе-

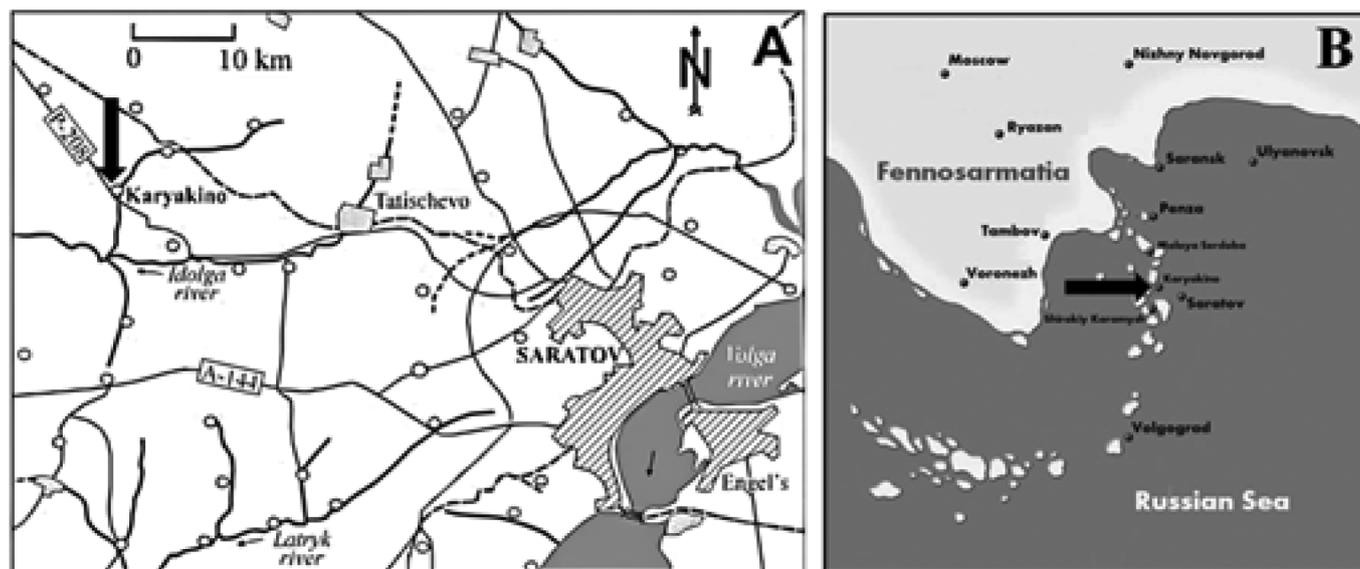


Рис. 1. А — Карта окрестностей г. Саратов с указанием положения села Карякино (указано вертикальной стрелкой). В — Палеогеографическая карта Европейской части России конца мелового периода (кампанский ярус) с указанием современных населенных пунктов (село Карякино указано горизонтальной стрелкой)

ниях в районе карьера недалеко от села Карякино Татищевского района Саратовской области Российской Федерации.

Местонахождение «Карякино» представляет собой небольшой эпизодически эксплуатируемый карьер, расположенный в 500 м к западу-северо-западу от села Карякино, по правому краю долины реки Малая Идолга, вблизи автодороги Р-208. Карьер состоит из песчаника Рыбушкинской формация, стратотип которой установлен в районе села Рыбушка и находится в пределах кампанского яруса (K2km) верхнего отдела мелового периода мезозойской эры [Иванов, 1995; Первушов и др., 1999].

Рыбушкинская формация характеризуется максимальной мощностью в 30 м и представлена желтоватыми и зеленовато-серыми песками и песчаниками с зернами разного размера и биотурбациями. Ее геологический разрез представлен следующими отложениями. Нижний подъярус кампанского яруса (K2km1) состоит из зоны переслаивания кварцево-глауконитовых, реже известковистых, разнозернистых песков и песчаников, от жел-

товато-белого до серо-зеленого цвета, с отдельными участками ожелезнения неправильных очертаний. Ближе к основанию слоя располагается фосфоритовый горизонт (0,1–0,2 м), насыщенный фаунистическими остатками. Верхний подъярус кампанского яруса (K2km2) представлен плитчатыми глинистыми силицитами темно-серого цвета с примесью мелкозернистого кварцевого песка. [Иванов, 1996].

Изучаемая в настоящей работе лобная кость мозазавра CSECh 09.2023.1–64 была обнаружена в слое мощностью 0,1–0,15 м, состоящим из кварц-глауконитового среднезернистого песка и многочисленных разновеликих фосфоритовых конкреций.

Данный экземпляр лобной кости *Latoplatecarpus willistoni* (CSECh 09.2023.1–64) хранится в коллекции автора.

Материал и сравнение

Исследуемый материал CSECh 09.2023.1–64 представляет собой хорошо сохранившиеся полностью срос-

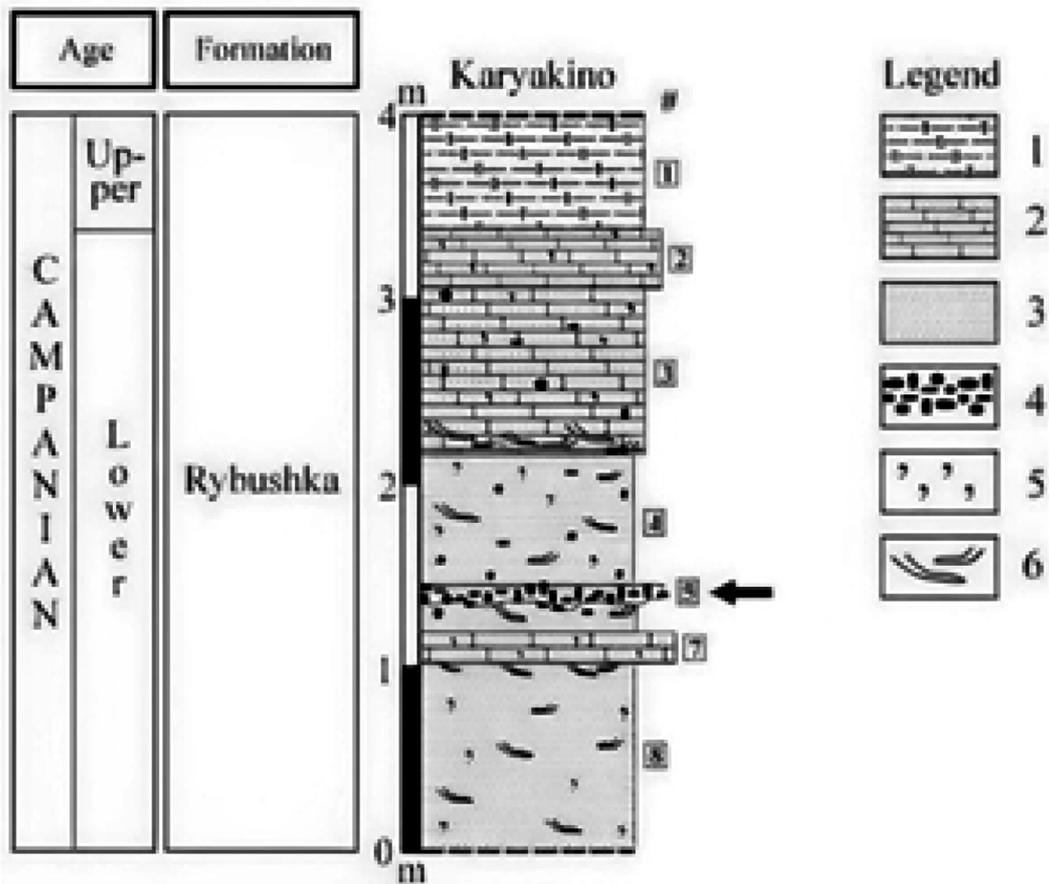


Рис. 2. Геологический разрез местонахождения «Карякино». Цифры в прямоугольниках обозначают номер слоя. Положение остатков лобной кости CSECh 09.2023.1–64 указано горизонтальной стрелкой (слой 5). Литологические обозначения: 1 — известняки; 2 — глинистая опока; 3 — песчаник; 4 — фосфоритовые конкреции; 5 — глауконит; 6 — биотурбация

шиеся лобные кости, образующие единую *os frontale*, с полностью утраченным у основания предчелюстным отростком, имеющую приблизительно треугольные очертания размерами 10,5 X 11,2 см.

Исследуемый экземпляр лобной кости (CSECh 09.2023.1–64) без сомнения относится к кладе *Plioplatecarpini* на основании наличия сильных, расходящихся вперед вендролатеральных отростков, наличие которых также имеется у всех видов *Plioplatecarpus*, а также у североамериканских экземпляров, отнесенных к *Platecarpus somenensis*, в настоящее время синонимизированных с *Latoplatecarpus nichollsae* [Konishi & Caldwell, 2011]. Но в отличие от всех известных таксонов *Plioplatecarpini* у исследуемого экземпляра CSECh 09.2023.1–64 заднелатеральные крылья заострены и имеют прямой в поперечном направлении задний край, а также имеется значительное углубление от прилегающего посторбитального отростка теменной кости.

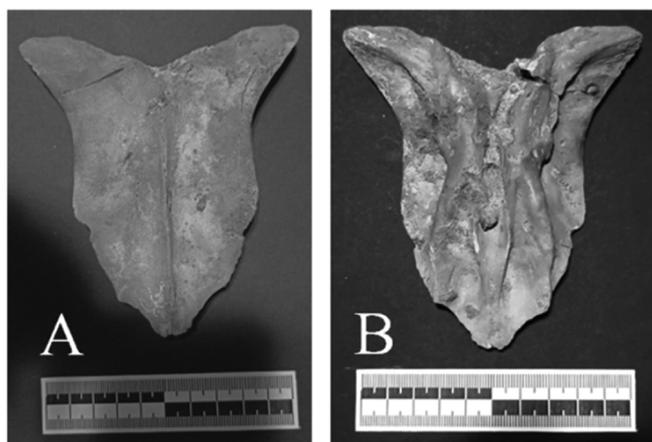


Рис. 3. Исследуемый экземпляр лобной кости *Latoplatecarpus willistoni* (CSECh 09.2023.1–64). А — вид с дорсальной стороны, В — вид с вентральной стороны

Я отношу исследуемый экземпляр CSECh 09.2023.1–64 к виду *Latoplatecarpus willistoni* на основании указанных ниже морфологических признаков, проводя дифференциальную диагностику с лобными костями различных представителей клады *Plioplatecarpini*.

В отличие от *Plesioplatecarpus planifrons* (UALVP 24240, YPM 40508), надглазничный выступ у исследуемого экземпляра CSECh 09.2023.1–64 не утолщен, и, хотя предглазничные границы сходятся спереди, они делают это в меньшей степени, чем у *Plesioplatecarpus*. Эта разница обусловлена более широким разделением переднебоковых отростков лобной кости [Konishi & Caldwell, 2007; Konishi, 2008].

У экземпляров *Plesioplatecarpus planifrons* (UALVP 24240), расстояние между переднебоковыми отростками составляет около 36 % от межглазничной ширины [Konishi & Caldwell, 2011]. А у экземпляра *Platecarpus tympaniticus* (AMNH 1820), с которым синонимизированы *Platecarpus ictericus* [Konishi et al., 2010] и *Platecarpus coryphaeus* [Bell Jr., 1993], это расстояние составляет приблизительно 39 % [Russell, 1967]. У исследуемого экземпляра CSECh 09.2023.1–64 расстояние между переднебоковыми отростками составляет не менее 50 % межглазничной ширины, и очень хорошо соотносится с таковым у экземпляра *Latoplatecarpus willistoni* (TMP 84.162.01) [Konishi & Caldwell, 2011], так как согласуется с наличием расходящихся вперед вендролатеральных отростков на вентральной поверхности лобной кости. У *Plesioplatecarpus* и *Platecarpus* вендролатеральные отростки простираются параллельно друг другу, образуя близко расположенные переднебоковые отростки (Konishi and Caldwell, 2009).

У исследуемого экземпляра CSECh 09.2023.1–64 так же, как у экземпляров *Latoplatecarpus willistoni* (TMP

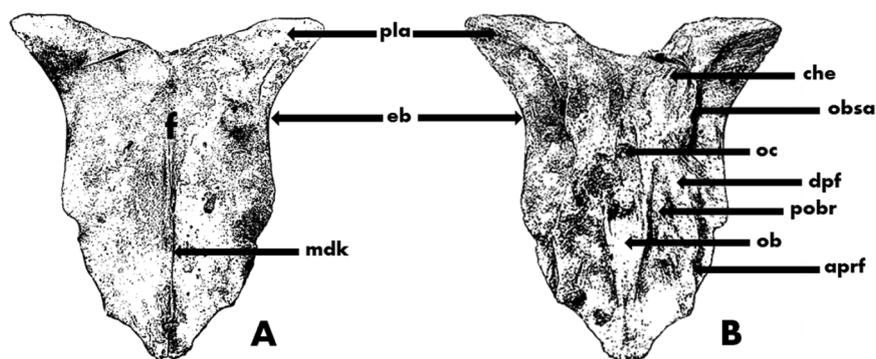


Рис. 4. Исследуемый экземпляр лобной кости *Latoplatecarpus willistoni* (CSECh 09.2023.1–64) с указанием морфологических признаков.

А — вид с дорсальной стороны, В — вид с вентральной стороны. Обозначения: f — лобная кость, pla — заднелатеральное крыло, eb — надглазничный выступ, mdk — срединный дорсальный гребень, che — отпечаток полушарий головного мозга, obsa — орбитосфеноидальная суставная борозда, oc — канал обонятельного тракта, dpf — нисходящий отросток, pobr — парные околообонятельные впадины, ob — обонятельная луковица, aprf — префронтальная суставная поверхность

84.162.01 и DMNH 8769) [Konishi & Caldwell, 2011], имеется выраженный срединный дорсальный гребень, который начинается примерно на уровне глазницы и имеет в высоту около 3 мм. Также имеется две заднедорсальные срединные выемки, более широкая из которых является границей шва с теменной костью, тогда как меньшая образует внутреннюю границу передней половины теменного отверстия. Меньшая выемка развита слабо, так как пара заднемедианных выступов внутри более широкой выемки свободно окружают переднюю половину теменного отверстия, примерно так же, как и у экземпляра *Latoplatecarpus willistoni* (DMNH 8769), и отличается от экземпляра *Latoplatecarpus willistoni* (TMP 84.162.01), у которого меньшая выемка развита более отчетливо [Konishi & Caldwell, 2011]. Это может свидетельствовать либо о вариантах внутривидовой (варианты развития, половые отличия), либо, что более вероятно, об онтогенетической изменчивости у данного таксона.

Лобные кости представителей рода *Plioplatecarpus* (*Plioplatecarpus peckensis* (MOR 1062) [Cuthbertson & Holmes, 2015], *Plioplatecarpus houzeaui* (IRSNB 3101, IRSNB 3130, IRSNB 3108, R35) [Lingham-Soliar, 1994], *Plioplatecarpus primaevus* [Holmes, 1996; Holmes et al., 1999]) имеют практически прямоугольное строение. Передние части их лобных костей образуют широкозакругленные задние края наружных носовых отверстий, между которыми продолжаются в виде длинных предчелюстных отростков. Обнаруженные экземпляры лобных костей *Plioplatecarpus marshi* (IRSNB R38, NHMM 1983) [Lingham-Soliar, 1994] для сравнительного анализа из-за сохранности практически не пригодны, но и по фрагментам (IRSNB R38) видно, что, в отличие от исследуемого экземпляра CSECh 09.2023.1–64, лобная кость *Plioplatecarpus marshi* имеет слабовыраженные несколько пологие заднелатеральные крылья.

В отличие от исследуемого экземпляра CSECh 09.2023.1–64, относимого мною к *Latoplatecarpus willistoni*, у близкородственного вида *Latoplatecarpus nichollsae* (CMN 52261, TMP 83.24.01 и M 83.10.18) предглазничные границы лобной части относительно прямые с незначительной степенью межглазничного сужения [Cuthbertson et al., 2007; Konishi & Caldwell, 2009], а заднелатеральные крылья имеют дистальные закругления, а не заостренное строение как у *Latoplatecarpus willistoni* [Konishi & Caldwell, 2011].

На вентральной поверхности исследуемого экземпляра CSECh 09.2023.1–64 по бокам от средней вентральной линии перед лобно-теменным швом проходит пара серповидных углублений, обозначающих отпечатки полушарий головного мозга [Russell, 1967]. Между этими углублениями начинается обонятельный тракт, который продолжается вперед. Так же, как и у других, описанных ранее экземпляров рода *Latoplatecarpus*

[Konishi & Caldwell, 2011; Cuthbertson et al., 2007; Konishi & Caldwell, 2009], примерно две трети канала обонятельного тракта узкие и параллелепipedные, но они постепенно расширяются спереди, образуя широкую нишу для обонятельных луковиц в предглазничной области. У представителей родов *Platecarpus* и *Plesioplatecarpus* обонятельный тракт остается узким по всей своей длине, и только на переднем конце он резко расширяется, образуя нишу для обонятельных луковиц [Russell, 1967; Konishi & Caldwell, 2007]. У видов рода *Plioplatecarpus* обонятельный тракт начинает расходиться от заднего конца вперед по всей длине [Lingham-Soliar, 1994; Holmes, 1996]. На исследуемом экземпляре CSECh 09.2023.1–64 по бокам широкой ниши обонятельных луковиц расположена пара больших овальных углублений (парные параольфакторные впадины обонятельных луковиц). Сбоку к ним примыкают хорошо развитые, расходящиеся вперед вентролатеральные отростки лобной кости. Практически идентичное анатомическое строение можно наблюдать и у ранее описанных экземпляров *Latoplatecarpus willistoni* (TMP 84.162.01 и DMNH 8769) [Konishi & Caldwell, 2011] и *Latoplatecarpus nichollsae* (CMN 52261, TMP 83.24.01 и M 83.10.18) [Cuthbertson et al., 2007; Konishi & Caldwell, 2009]. Хотелось отметить, что экземпляр *Plioplatecarpus primaevus*, (CMN 11835), демонстрирует почти идентичное расхождение и утолщение этих отростков, и у которого также возможно различить заднюю часть левой параольфакторной впадины [Holmes, 1996]. Такие же морфологические признаки присутствуют и у *Plioplatecarpus houzeaui* (IRSNB 3108) и *Plioplatecarpus marshi* (NHMM 1983), в то время как у *Plesioplatecarpus planifrons* (UALVP 24240, YPM 40508) и *Platecarpus tympaniticus* (AMNH 1820), такие впадины отсутствуют или сужены, соответственно [Russell, 1967; Konishi & Caldwell, 2007]. Описанные выше морфологические признаки лобных костей являются хорошим диагностическим критерием для распознавания родов в кладе *Plioplatecarpini*.

На основании приведенных выше признаков, описываемый в данном исследовании экземпляр лобной кости представителя семейства *Mosasauridae* (CSECh 09.2023.1–64) уверенно можно отнести к кладе *Plioplatecarpini* и виду *Latoplatecarpus willistoni*.

Обсуждение и выводы

Из анализа стратиграфических и географических данных ранее описанных представителей *Plioplatecarpini*, можно было бы считать, что данная клада мозазавров являлась эндемичной для Северной Америки до периода маастрихского яруса, в отложениях которого в Бельгии были обнаружены остатки *Plioplatecarpus marshi* и *Plioplatecarpus houzeaui*, так как до настоящего времени с территории Российской Федерации остатки *Plioplatecarpini* были не известны.

Настоящая находка CSECh 09.2023.1–64 из местонахождения «Карякино» в Саратовской области (Россия) не только существенно расширяет ареал вида *Latoplatecarpus willistoni* далеко на восток до палеобассейна Русского моря, но и отодвигает далеко назад появление представителей *Plioplatecarpini* на территории современной Европы, по крайней мере, до периода кампанского яруса.

Результаты настоящего исследования полностью подтверждают гипотезу об отсутствии эндемизма у североамериканских мозазавров не только для рода *Clidastes* (Mosasaurinae) [Lindgren & Siverson, 2004; Caldwell & Diedrich, 2005; Григорьев и др., 2015], но и для

других представителей семейства Mosasauridae — рода *Latoplatecarpus* (*Plioplatecarpinae*).

Это можно объяснить следующим. Понижение уровня и температуры океана, начавшиеся в позднем коньяке и продолжавшиеся до маастрихта [Polcyn et al., 2014], способствовали распространению мозазаврид из бассейнов Западного Внутреннего морского пути в Северо-Западную Европу вдоль восточного побережья Северной Америки и Южной Гренландии, исключая возможность арктического миграционного маршрута через территорию современной центральной Канады из-за низкого температурного режим вод открытого океана [Lindgren & Siverson, 2004].

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Д.В., Архангельский М.С., Меркулов С.М. 2015. О находке *Clidastes propython* Cope (Squamata, Mosasauridae) в верхнем мелу Саратовской области. Палеонтологический Журнал, № 5, стр. 60–68.
2. Иванов А.В. 1995. Маринакулаты — проблематичный новый тип животных из мела и палеогена России. Саратов: Изд. ГУНЦ «Колледж», стр. 152.
3. Иванов А.В. 1996. Каталог маринакулярных местностей. Издательство СГУ, Саратов, стр. 106.
4. Первушов Е.М., Иванов А.В., Попов Е.В. 1999. Местная стратиграфическая схема верхнемеловых отложений Правобережного Поволжья. Труды Научно-исследовательского института геологии Саратовского Государственного университета имени Н.Г. Чернышевского, Новая серия, т. I. Саратов: Изд. ГУНЦ «Колледж», стр. 85–94.
5. Яковлев Н. 1905. Заметки о мозазаврах. Изв. геол. комитета. Т. 24. Вып. 106. стр. 135–152.
6. Bell Jr. G.L. 1993. A phylogenetic revision of Mosasauroida (Squamata). Unpublished doctoral dissertation, University of Texas, Austin, pp. 293.
7. Bell Jr. G.L. 1997. A Phylogenetic Revision of North American and Adriatic Mosasauroida. *Ancient Marine Reptiles*. Acad. Press. pp. 293–332.
8. Caldwell M.W., Diedrich C.G. 2005. Remains of *Clidastes* Cope, 1868, an unexpected mosasaur in the upper Campanian of NW Germany. *Neth. J. Geosci.* Vol. 84, pp. 213–220.
9. Cuthbertson R.S., Mallon J.C., Campione N.E., Holmes R.B. 2007. A new species of mosasaur (Squamata: Mosasauridae) from the Pierre Shale (Lower Campanian) of Manitoba. *Canadian Journal of Earth Sciences*. Vol. 44, Iss. 5, pp. 593–606.
10. Cuthbertson R.S., Holmes R.B. 2015. New species of *Plioplatecarpus* (Mosasauridae, *Plioplatecarpinae*) from the Bearpaw Formation (Campanian, Upper Cretaceous) of Montana, U.S.A. *Journal of Vertebrate Paleontology*: e922980.
11. Grigoriev D.V. 2013. Redescription of *Prognathodon lutugini* (Squamata, Mosasauridae). *Proceedings of the Zoological Institute RAS*, Vol. 317, № 3, pp. 246–261.
12. Grigoriev D.V. 2014. Giant Mosasaurus *hoffmanni* (Squamata, Mosasauridae) from the Late Cretaceous (Maastrichtian) of Penza, Russia. *Proc. Zool. Inst. RAS*. V. 318, №2. pp. 148–167.
13. Holmes R. 1996. *Plioplatecarpus primaevus* (Mosasauridae) from the Bearpaw Formation (Campanian, Upper Cretaceous) of the North American Western Interior Seaway. *Journal of Vertebrate Paleontology*. Vol. 16, Iss. 4, pp. 673–687.
14. Holmes R., Caldwell M.W., Cumbaa S. 1999. A new specimen of *Plioplatecarpus* (Mosasauridae) from the lower Maastrichtian of Alberta: comments on allometry, functional morphology, and paleoecology. *Canadian Journal of Earth Sciences*. Vol. 36, Iss. 3, pp. 363–369.
15. Konishi T., Caldwell M.W. 2007. New specimens of *Platecarpus planifrons* (Cope, 1874) (Squamata: Mosasauridae) and a revised taxonomy of the genus. *Journal of Vertebrate Paleontology* 27:59–72.
16. Konishi T. 2008. Southernmost occurrence of *Platecarpus planifrons* (Squamata: Mosasauridae) from the Tombigbee Sand Member (middle Santonian) of Alabama, USA, and a revised biostratigraphy of the genus. *Proceedings of the Second Mosasaur Meeting*, pp. 106–114.
17. Konishi T., Caldwell M.W. 2009. New Material of the Mosasaur *Plioplatecarpus nichollsae* Cuthbertson et al., 2007, Clarifies Problematic Features of the Holotype Specimen. *Journal of Vertebrate Paleontology*. Vol. 29, № 2, pp. 417–436.
18. Konishi T., Caldwell M.W., Bell G.L. 2010. Redescription of the holotype of *Platecarpus tympaniticus* Cope, 1869 (Mosasauridae: *Plioplatecarpinae*), and its implications for the alpha taxonomy of the genus. *Journal of Vertebrate Paleontology*. Vol. 30, Iss. 5, pp. 1410–1421.
19. Konishi T., Caldwell M.W. 2011. Two New *Plioplatecarpine* (Squamata, Mosasauridae) Genera from the Upper Cretaceous of North America, and a Global Phylogenetic Analysis of *Plioplatecarpines*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, Vol. 31, Is. 4 pp. 754–783.
20. Lindgren J., Siverson M. 2004. The first record of the mosasaur *Clidastes* from Europe and its palaeogeographical implications. *Acta Palaeontologica Polonica*. Vol. 49, Iss. 2, pp. 219–234.
21. Lingham-Soliar T. 1994. The Mosasaur *Plioplatecarpus* (Reptilia, Mosasauridae) from the Upper Cretaceous of Europe. *Bulletin of the Royal Belgian Natural History Museum*, 64: pp. 177–211.
22. Polcyn M.J., Jacobs L.L., Araujo R. et al. 2014. Physical drivers of mosasaur evolution. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* Vol. 400, pp. 17–27.
23. Russell D.A. 1967. Systematics and morphology of American mosasaurs. *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*. Yale University, № 23, pp. 241.

© Чудакова Софья Егоровна (schudakova@rambler.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ

THEORETICAL FOUNDATIONS OF ORGANIZATIONAL SYSTEMS MANAGEMENT

**S. Aksenov
O. Egorova**

Summary. In the context of organizational management, an organizational system (OS) is defined as a collective organization consisting of individuals who work together to achieve a specific goal. These collective efforts are based on established procedures and rules, which serve as the main mechanisms facilitating the functioning of the system. The fundamental structure of an organizational system can be represented using the basic Input-Output model, which provides a conceptual framework for understanding the key elements and relationships within the system. Organizational systems management theory studies the mathematical modeling of these systems, which provides a framework for analyzing and understanding the complexity of organizational systems. The discussion focuses on the key issues and challenges within this theoretical framework. The strategic goal is to create a unified theory of organizational management by integrating mathematical models of organizational systems with modern achievements in psychology, economics and sociology. Such an integrated approach will make it possible to develop practical and effective strategies for managing real organizational systems. The development of organizational management theory is hindered by problems that can be divided into three main areas: the integration of the proposed theory with other established theories, an accurate representation of the complexity of real organizational systems and solving internal problems within the framework of the theory itself.

Keywords: organizational system, management, fundamental system, problem.

Теория управления организацией опирается на модели принятия решений из таких областей, как теория принятия решений и теория игр. Однако за последние четверть века в разработке моделей принятия решений не было достигнуто существенного прогресса. Преобладающая модель рационального поведения оказалась недостаточной для объяснения многих явлений и процессов в реальном мире, что создает настоятельную потребность в новой парадигме принятия решений, способной лучше учитывать сложности организационных систем.

Проблема адекватности организационных моделей принятия решений возникает в результате поиска компромисса между эффективностью и применимостью. Чем эффективнее предлагаемые решения, тем

Аксенов Сергей Геннадьевич
доктор экономических наук, профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий
aks1959prof@gmail.com
Егорова Ольга Викторовна
магистрант,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий
pavel1112w@mail.ru

Аннотация. В контексте организационного управления организационная система (ОС) определяется как коллективная организация, состоящая из отдельных лиц, которые работают вместе для достижения определенной цели. Эти коллективные усилия основаны на установленных процедурах и правилах, которые служат основными механизмами, облегчающими функционирование системы. Фундаментальная структура организационной системы может быть представлена с помощью базовой модели «Затраты-выпуск», которая обеспечивает концептуальную основу для понимания ключевых элементов и взаимосвязей внутри системы. Теория управления организационными системами изучает математическое моделирование этих систем, которое обеспечивает основу для анализа и понимания сложности организационных систем. Обсуждение сосредоточено на ключевых вопросах и задачах в рамках этой теоретической основы. Стратегической целью является создание единой теории организационного управления путем интеграции математических моделей организационных систем с современными достижениями психологии, экономики и социологии. Такой комплексный подход позволит разрабатывать практические и эффективные стратегии управления реальными организационными системами. Развитию теории организационного управления препятствуют проблемы, которые можно разделить на три основные области: интеграция предлагаемой теории с другими устоявшимися теориями, точное представление сложности реальных организационных систем и решение внутренних проблем в рамках самой теории.

Ключевые слова: организационная система, управление, фундаментальная система, проблема.

менее они применимы к широкому спектру реальных систем.

Несмотря на растущее число публикаций и возросшую интенсивность исследований, сохраняются значительные трудности в выявлении новых классов моделей ОС и получении аналитических результатов на основе изучения хорошо известных моделей. Проблема решения задач анализа и синтеза систем оптимального управления остается одной из основных задач в области теории оптимального управления.

Элементы управления организационной системы были классифицированы на основе компонента модели организационной системы, на который влияют управляющие воздействия. Эти компоненты включают состав,

структуру, ограничения и нормы деятельности, предпочтения и осведомленность.

Элементы управления организационной системы были классифицированы на основе компонента модели организационной системы, на который влияют управляющие воздействия. Эти компоненты включают состав, структуру, ограничения и нормы деятельности, предпочтения и осведомленность.

Таким образом, несмотря на растущее число публикаций и возросшую интенсивность исследований, сохраняются значительные трудности в выявлении новых классов моделей организационных систем (ОС) и получении аналитических результатов на основе изучения хорошо известных моделей. Проблема решения задач анализа и синтеза систем оптимального управления остается одной из основных задач в области теории оптимального управления.

Теория организационного менеджмента опирается на модели принятия решений из таких областей, как теория принятия решений и теория игр, но прогресс в этих моделях в последние десятилетия был ограничен. Господствующая модель рационального поведения также оказалась недостаточной для объяснения многих явлений реального мира.

Проблема адекватности моделей принятия организационных решений возникает из-за компромисса между эффективностью и применимостью, поскольку более эффективные решения, как правило, имеют более узкую сферу применения в реальных условиях.

Несмотря на возросшую интенсивность исследований, сохраняются значительные трудности в выявлении

новых классов моделей операционных систем и получении аналитических результатов на основе изучения хорошо известных моделей. Решение задач анализа и синтеза систем оптимального управления является ключевой задачей в области теории оптимального управления.

В контексте организационного управления организационная система (ОС) определяется как коллективная организация, состоящая из отдельных лиц, которые работают вместе для достижения определенной цели. Эти коллективные усилия направляются установленными процедурами и правилами, которые служат базовыми механизмами, облегчающими функционирование системы.

Фундаментальную структуру организационной системы можно представить с помощью базовой входно-выходной модели, как показано на рисунке 1. Эта модель обеспечивает концептуальную основу для понимания ключевых элементов и взаимосвязей внутри системы.

Теория управления организационными системами изучает математическое моделирование этих систем, как показано на рисунке 2. Этот математический подход обеспечивает основу для анализа и понимания сложности организационных систем. В дальнейшем обсуждении мы сосредоточимся на ключевых вопросах и задачах в рамках этой теоретической основы.

Стратегическая цель состоит в создании единой теории организационного управления путем интеграции математических моделей организационных систем с современными достижениями психологии, экономики и социологии. Этот комплексный подход позволит разработать практические и эффективные стратегии управления реальными организационными системами, как показано на рисунке 3.

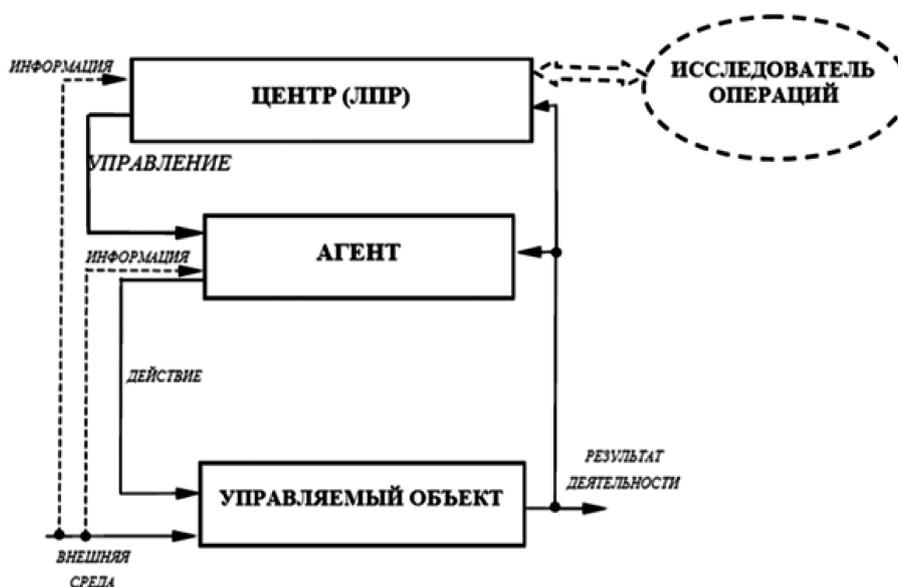


Рис. 1. Модель организационной системы

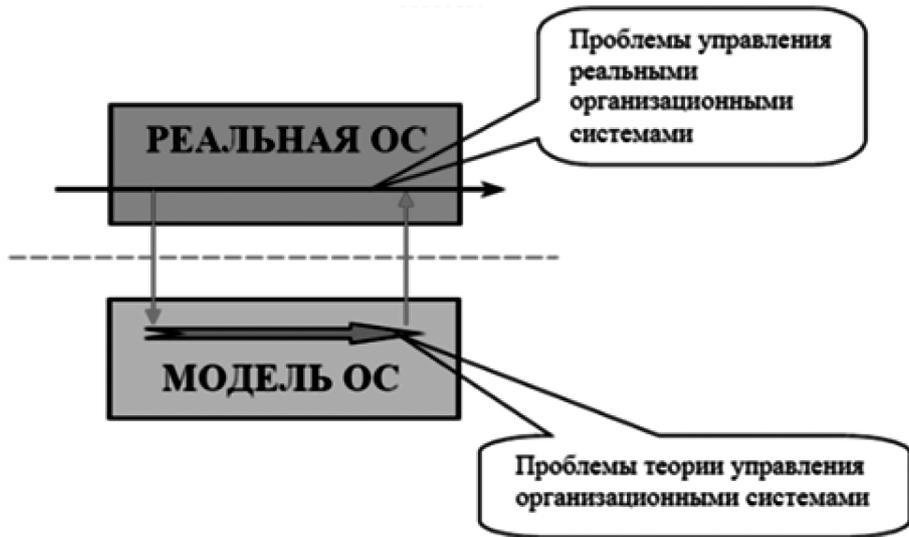


Рис. 2. Реальность и модели



Рис. 3. Стратегическая цель теории

Разработкой теории организационного менеджмента препятствуют несколько проблем, которые можно разделить на три основные области. Первая группа проблем возникает из-за необходимости интегрировать предлагаемую теорию с другими устоявшимися теориями и концепциями из смежных дисциплин, обеспечивая связный и целостный подход. Вторая группа проблем связана со способностью теории точно представлять и охватывать сложности реальных организационных систем, что требует тщательного рассмотрения нюансов и динамики этих систем. Третий набор задач отражает

проблемы, присущие самой теории, включая разработку надежных математических моделей, валидацию этих моделей и интеграцию различных теоретических точек зрения.

На рисунке 4 показаны различные научные дисциплины, которые вносят вклад в изучение организационных систем. Теория организационного менеджмента опирается на модели принятия решений из таких областей, как теория принятия решений и теория игр. Однако за последнюю четверть века в моделях принятия реше-

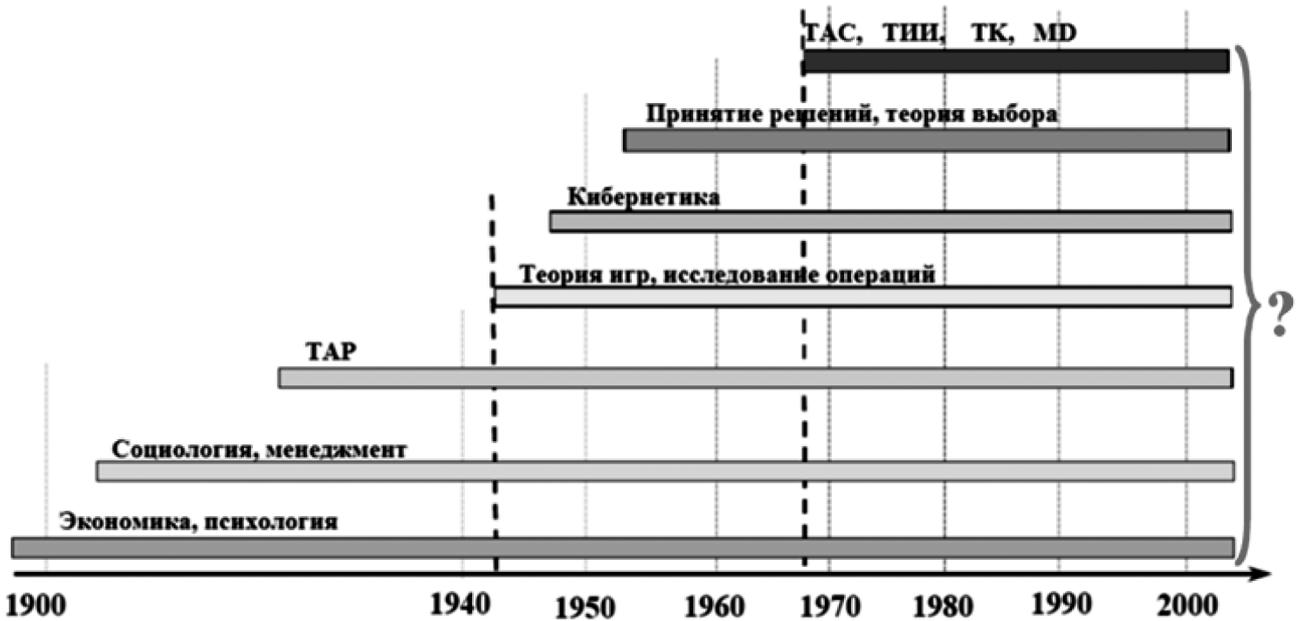


Рис.4. Организационные системы с точки зрения различных наук.

(ТАР — теория автоматического регулирования, ТАС — теория активных систем, ТИИ — теория иерархических игр, ТК — теория контрактов, MD — mechanism design)



Рис. 5. Дилемма «область адекватности — эффективность»

ний не было достигнуто существенных успехов. Между тем, преобладающая модель рационального поведения, которая утверждает, что рациональный агент выбирает альтернативу, максимизирующую его целевую функцию, оказалась недостаточной для объяснения многих явлений и процессов реального мира. Это породило острую

потребность в новой парадигме принятия решений, которая могла бы лучше учитывать сложности организационных систем.

Проблема адекватности организационных моделей принятия решений возникает из-за компромисса между

эффективностью и применимостью. Чем эффективнее предлагаемые решения, тем менее они применимы к широкому спектру реальных систем. Это означает, что введение дополнительных допущений может повысить эффективность управленческих решений и упростить задачу идентификации, но это также ограничивает сферу их применения.

Элементы управления организационной системой были классифицированы на основе компонента модели организационной системы, на который влияют управляющие воздействия. Эти компоненты включают состав, структуру, ограничения и нормы деятельности, предпочтения и осведомленность.



Рис. 6. Типы управления организационными системами

Элементы управления организационной системой были классифицированы на основе компонента модели организационной системы, на который влияют управляющие воздействия. Эти компоненты включают состав, структуру, ограничения и нормы деятельности, предпочтения и осведомленность.

структуру, ограничения и нормы деятельности, предпочтения и осведомленность.



Рис. 7. Динамика развития теории управления организационными системами

Таким образом, несмотря на растущее число публикаций и возросшую интенсивность исследований, сохраняются значительные трудности в выявлении новых классов моделей организационных систем (ОС) и получении аналитических результатов на основе изучения хорошо известных моделей. Проблема решения задач анализа и синтеза оптимальных систем управления остается одной из основных задач в области теории оптимального управления.

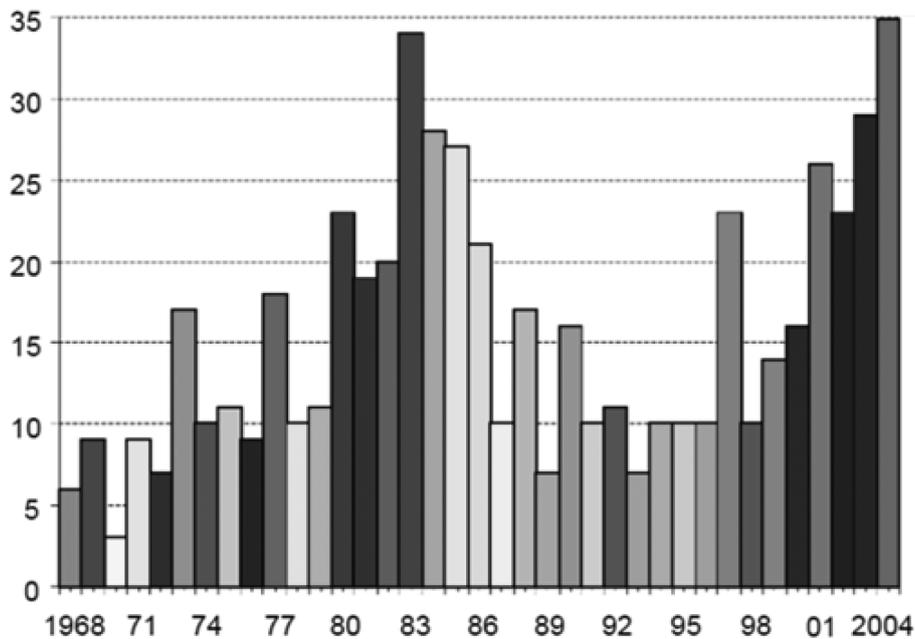


Рис. 8. Динамика числа основных публикаций по теории управления организационными системами

ЛИТЕРАТУРА

1. Андронникова Н.Г., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Котенко А.М. Модели и методы оптимизации региональных программ развития. М.: ИПУ РАН, 2001. — 60 с.
2. Ануфриев И.К., Бурков В.Н., Вилкова Н.И., Рапацкая С.Т. Модели и механизмы внутрифирменного управления. М.: ИПУ РАН, 1994. — 72 с.
3. Арутюнов А.В., Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Карамзин Д.Ю. Задача оптимального распределения ресурсов по множеству независимых операций // Автоматика и Телемеханика. 2002. № 5. С. 108–119.
4. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Курочка П.Н., Образцов Н.Н. Задачи управления материально-техническим снабжением в рыночной экономике. М.: ИПУ РАН, 2000. — 58 с.
5. Баркалов С.А., Новиков Д.А., Попов С.С. Индивидуальные стратегии предложения труда: теория и практика. М.: ИПУ РАН, 2002. — 109 с.
6. Авдеев Ю.А. Оперативное планирование в целевых программах. Одесса: «МАЯК», 1990. — 136 с.
7. Баркалов С.А., Бурков В.Н., Гилязов Н.М. Методы агрегирования в управлении проектами. М.: ИПУ РАН, 1999. — 55 с.

© Аксенов Сергей Геннадьевич (aks1959prof@gmail.com); Егорова Ольга Викторовна (pavel1112w@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

УНИФИЦИРОВАННОЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

UNIFIED MATHEMATICAL MODELING FOR ORGANIZATIONAL MANAGEMENT

*S. Aksenov
N. Shaimuratova*

Summary. The development of mathematical models for organization and resource management systems formulated as single-circuit dynamic discrete tracking systems is designed to obtain quantitative estimates of efficiency using dynamic analysis and parametric optimization methods. The goal is to create mathematical foundations for organization management systems structured in the form of unified dynamic tracking models that allow quantifying efficiency based on analytical methods and optimization approaches. The methodology develops from conceptual functional models to mathematical flowcharts, differential equations and, ultimately, to performance indicators.

Keywords: organization resource management, computer modeling, process rationalization, data-based assessment, indicator-based analysis.

Аксенов Сергей Геннадьевич

доктор экономических наук, профессор,
ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий
aks1959prof@gmail.com

Шаймуратова Наталья Игоревна

ФГБОУ ВО Уфимский университет науки и технологий
pavel1112w@mail.ru

Аннотация. Разработка математических моделей для систем управления организацией и ресурсами, сформулированных как одноконтурные динамические дискретные системы слежения, предназначена для получения количественных оценок эффективности с использованием методов динамического анализа и параметрической оптимизации. Цель состоит в создании математических основ для систем управления организацией, структурированных в виде унифицированных динамических моделей отслеживания, позволяющих количественно оценивать эффективность на основе аналитических методов и подходов к оптимизации. Методология развивается от концептуальных функциональных моделей к математическим блок-схемам, дифференциальным уравнениям и, в конечном счете, к показателям эффективности.

Ключевые слова: управление ресурсами организации, компьютерное моделирование, рационализация процессов, оценка на основе данных, анализ на основе показателей.

Математические модели необходимы для эффективного управления организациями и ресурсами. Эти модели должны основываться на одноконтурных динамических системах дискретного отслеживания. Динамически анализируя эти модели и оптимизируя их параметры, мы можем количественно оценить эффективность работы системы. Это важная проблема, требующая неотложного внимания. Решение этой проблемы позволит получить ценную информацию для улучшения организационного управления и управления ресурсами.

Задача решается с использованием следующего поэтапного подхода:

- разработка фрагментарных и обобщенных функциональных феноменологических моделей;
- создание фрагментарных и обобщенных блок-схем в качестве математического представления функциональных моделей;
- запись разностных уравнений для интересующих показателей эффективности;
- расчет оценок эффективности на основе разностных уравнений.

Ключевым принципом проектирования систем управления является подход, основанный на обратной

связи, который применяется в кибернетических системах. Эта модель измеряет разницу между желаемым поведением целевой функции и фактической реализацией системы, учитывая как априорные, так и апостериорные нарушения, влияющие на способность системы достигать намеченного целевого поведения.

Моделируя систему управления организацией, мы можем рассматривать ее как систему отслеживания, в которой желаемая траектория прибыли является ориентиром, которому следует система. Фактическая прибыль — это результат, и управленческие решения принимаются на основе измеренной разницы между желаемой и фактической прибылью, контролируя обратную связь, чтобы минимизировать расхождение.

Основные функциональные компоненты системы управления организацией включают стратегический маркетинг, менеджмент (принятие решений, координацию, мониторинг и корректирующие действия) и фактическое производство товаров/услуг, включая технологии и маркетинговую деятельность на рынке.

Систему управления организацией можно описать, используя классическую теорию менеджмента. Рынок — это управляемый объект, преобразующий товары

в деньги и прибыль. Маркетинговая программа — это исполнительная подсистема, влияющая на рыночные отношения. Программа управления — это подсистема управления. Производство преобразует деньги в товары/услуги. Программа финансирования, согласованная с желаемой траекторией получения прибыли, действует как «энергетический» носитель, связывающий несоответствие прибыли с общей динамикой организационной системы.

Учитывая свойства функционально необходимых элементов системы управления организацией, основное внимание в исследовании уделяется желаемому закону управления ресурсами. Этот желаемый закон определяет структуру управляющей подсистемы, необходимую для обеспечения отслеживания целевой прибыли с желаемой точностью (минимизации рассогласования). «Ошибка» в отслеживании, или степень несовпадения целей, служит ключевым критерием оценки качества и эффективности функционирования системы управления организацией.

Ключевым структурным отличием систем организационного управления от чисто технических систем управления является наличие человеческого фактора (интеллекта) в организационных системах. Этот человеческий фактор участвует в планировании, реализации функций управления и проведении измерений (помимо простого контроля, который чаще встречается в технических системах управления). В организационных системах планирование, управление и измерение требуют экспертных оценок, связанных с принятием решений.

Чтобы разработать эффективную математическую модель системы управления организацией, она должна отражать динамику преобразования измеренного целевого отклонения в реализуемый экономический показатель — выходную переменную системы $y(t)$. Перед моделированием системы в целом необходимо определить математические модели для каждого функционально необходимого элемента.

При описании преобразований в прямой цепочке с помощью дифференциальных уравнений динамика включает время, необходимое для реализации произ-

водственных, управленческих, маркетинговых и других процессов.

Когда организационная система функционирует оптимально и преобразования являются дискретными, каждый элемент и система в целом могут быть формализованы с помощью разностных уравнений, учитывающих заданные начальные условия и формализующих динамику дискретных процессов.

Ключевым отличием от формализации с непрерывным временем является возможность рекурсивного (алгебраического) описания динамики путем решения разностных уравнений, что не требует интегрирования. Кроме того, формализация с использованием разностных уравнений естественным образом согласуется с возможностью цифрового моделирования организационных и ресурсных систем без необходимости дальнейшего преобразования математической модели.

Разностные уравнения могут быть представлены в операторной форме, что позволяет сравнить функциональную схему организационной системы с математической моделью структурной схемы. Каждый функциональный элемент соответствует линейному или нелинейному оператору.

Чтобы упростить инерционные нелинейные преобразования, мы можем предположить, что нелинейность остается неизменной после завершения переходных процессов. Это позволяет разделить нелинейный элемент на инерционную нелинейную часть (нелинейное звено со статической характеристикой) и инерционную линейную часть (линейный оператор, представляющий динамику).

Если статическую характеристику измерителя рассогласования обозначить как f , статические характеристики остальных функционально необходимых элементов — как φ , а инерционные линейные операторы — как $K(z)$, то функциональная схема модели организационной системы соответствует общей нелинейной структурной схеме в виде системы слежения с единственной обратной связью (см. рис. 1). Структурная модель помимо визуальной нагрузки выполняет все функции математической

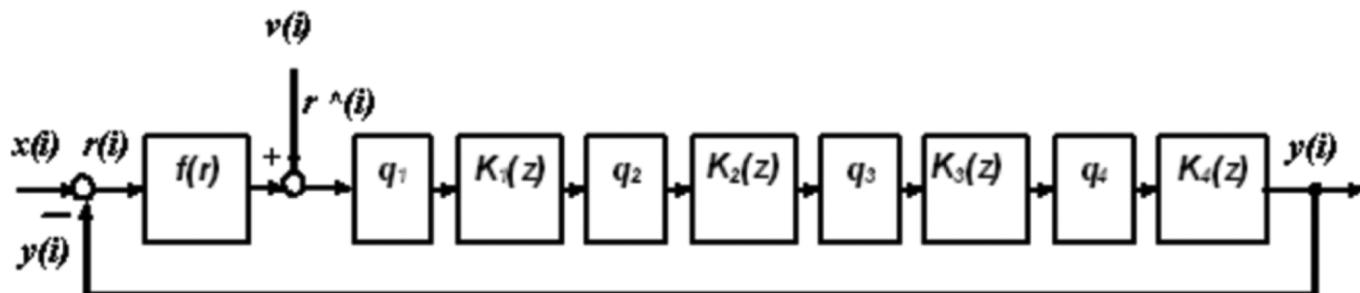


Рис. 1. Структурная схема модели системы организационного управления

модели экономики предприятия, учитывая динамический характер процессов, происходящих в системе.

Сначала мы определим параметры нелинейного преобразования и тип статической характеристики измерителя несоосности. Входными данными являются истинное значение несоосности $r = x - y$, которое может быть положительным или отрицательным. Если $r > 0$, реализованное значение y меньше желаемого значения x . Если $r < 0$, то y превышает x .

В сбалансированной экономической системе, как правило, существуют четко определенные пределы несбалансированности r . При превышении определенного порогового значения, обозначаемого как $\pm\Delta$, организационная система может считаться несбалансированной или находящейся на грани дисбаланса.

Таким образом, если величина рассогласования превышает пороговое значение $|r| > \Delta$, можно предположить, что организационная система не смогла выполнить свое предназначение.

Например, если x представляет собой желаемую прибыль, соотношенную с возможными инвестициями в производство, ограничение $r = \Delta$ означает, что реальная прибыль y меньше желаемой x на максимально допустимый предел. Это указывает на необходимость увеличения инвестиций для смягчения кризисной ситуации и обеспечения желаемой прибыли.

И наоборот, если несоответствие прибыли отрицательное и достигает предела $r = -\Delta$, что означает, что реальная прибыль y превышает желаемую x на максимальный предел, это может свидетельствовать о чрезмерных инвестициях в производство данного продукта.

Таким образом, достижение значений граничного смещения $\pm\Delta$ может свидетельствовать о дисбалансе в инвестиционной программе предприятия. Учет этих пределов смещения дает математической модели организационной системы возможность выбора на основе отслеживаемого показателя. Это подчеркивает еще одно преимущество формализации динамики организационной системы с использованием системного подхода с обратной связью.

Нелинейная статическая характеристика измерителя несоосности отражает избирательные свойства как организационной системы, так и ее модели. В классе характеристик статического измерителя это называется дискриминационной или разделительной характеристикой. Его можно аппроксимировать с помощью кусочно-линейной функции, как показано на рис. 2.

В дальнейшем мы будем называть нелинейное звено измерителя несоосности $f(r)$, представляющее собой характеристику дискриминационного типа.

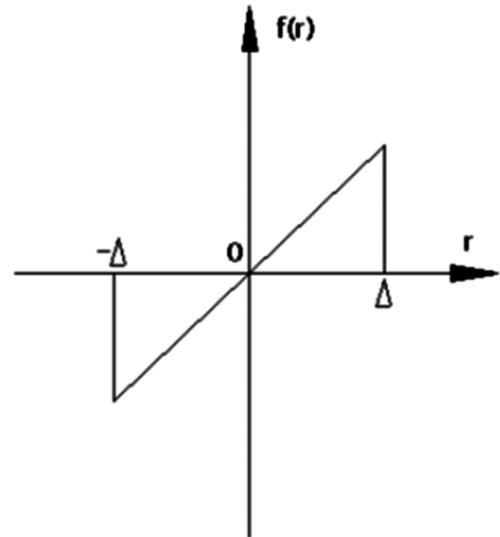


Рис. 2. Дискриминационная характеристика

Для остальных элементов организационной системы мы можем рассмотреть возможный тип нелинейности. Поскольку финансы (инвестиции) являются «энергетической» функцией, и существуют ограничения инвестиционной программы для производства, управления и маркетинга, соответствующие нелинейные преобразования могут быть аппроксимированы нелинейными ограничениями.

При графическом представлении нелинейной связи «ограничение» мы учитываем каждый функциональный элемент, преобразующий входные эффекты, связанные с несовпадениями различных знаков. Таким образом, статические характеристики можно считать симметричными, как показано на симметричной характеристике «ограничение» на рис. 3.

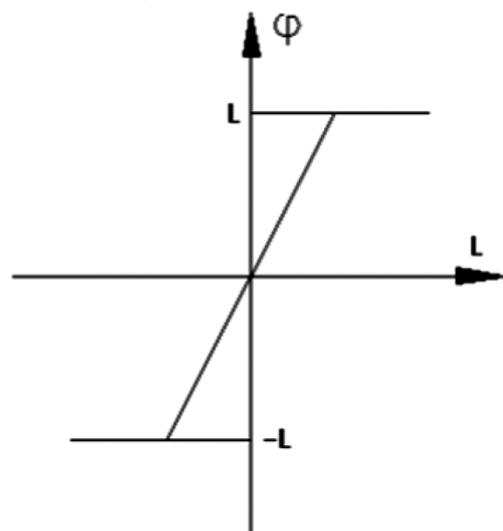


Рис. 3. Статическая характеристика «ограничения»

Уровень ограничений L для каждого функционально необходимого элемента определяется присущими ему

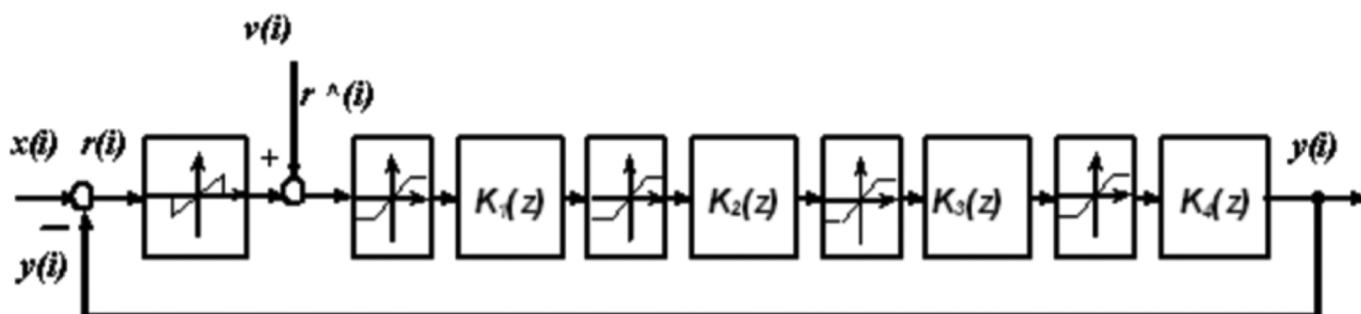


Рис. 4. Нелинейная структурная схема модели системы организационного управления

факторами и, как правило, различен. С учетом введенных статических характеристик функционально необходимых элементов структурная схема модели организационной системы задается так, как показано на рис. 4.

На основе интерпретации структурной схемы модели организационная система может быть формализована как класс нелинейных дискретных систем слежения. Структурная схема модели позволяет рассмотреть возможные режимы работы системы, которые затем могут быть использованы для формулирования соответствующих задач анализа и оптимизации.

Анализ статических характеристик нелинейных звеньев показывает, что они имеют четко выраженный линейный участок. Кроме того, при достаточно малых рассогласованиях, соответствующих номинальному (нормальному, безаварийному) режиму работы системы, входные воздействия на нелинейные звенья находятся в пределах линейных областей их статических характеристик.

В номинальном режиме линеаризованного отслеживания мы можем рассмотреть подходы к определению линеаризованной структурной схемы, учитывающей дискретизацию процесса с периодом T_n для вычисления целевого смещения, что намного меньше, чем время реализации программы. Таким образом, инерция оценки целевого смещения пренебрежимо мала по сравнению с инерцией других элементов. Угол наклона линейного участка статической характеристики измерителя смещения цели определяется оператором измерителя, графически определяется как тангенс угла наклона, обозначаемый K_r как коэффициент преобразования измерителя

смещения. Линейные операторы программ объединены в операторе исполнительной части $K_{py}(z)$.

Наиболее важной особенностью дискретной формализации организационно-ресурсной системы является то, что управленческие воздействия адекватно формируются на основе ранее измеренного целевого смещения. Это приводит к дискретному описанию организационной системы в режиме экстраполяции с задержкой в один или несколько периодов (T_n) между измерением целевого смещения и принятием управленческих решений.

Обозначим оператор этой однопериодной задержки формирования управляющих воздействий на исполнительную часть системы как $(z)^{-1}$. Предполагая, что процессы управления синхронизированы с однопериодной задержкой, структурная схема модели организационно-ресурсной системы в номинальном режиме работы принимает вид, показанный на рис. 5. На этой диаграмме все возмущения, действующие на различные элементы системы, объединены в один эквивалент, показанный на выходе измерителя целевого смещения. Это эквивалентное возмущение называется ошибкой (шумом) измерения целевого несоответствия, $v(i)$.

Для анализа качества системы организационных ресурсов с использованием математической модели в виде структурной схемы (рис. 6).

В системе организационного управления менеджмент следует рассматривать как управление всеми видами ресурсов, основанное на принципе отрицательной обратной связи с использованием информации об изме-

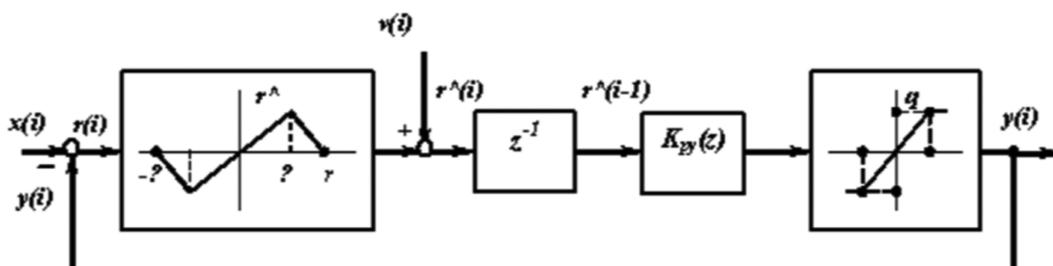


Рис. 5. Обобщенная структурная схема модели организационной системы

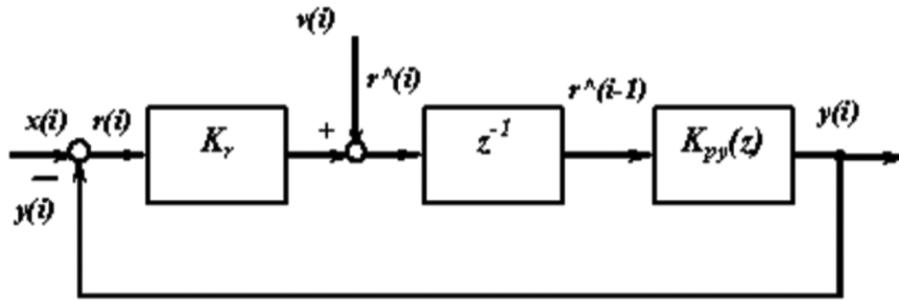


Рис. 6. Структурная схема как математическая модель СОУ

ренном целевом несоответствии между желаемым состоянием и реальным состоянием системы. Основными информационными модулями, позволяющими принимать адаптивные управленческие решения, являются программы динамического прогнозирования и контроля.

Переходная характеристика $h_{xy}(i)$ — это реакция модели $y(i)$ на один входной сигнал $x(i)=1(i)$ (где $1(i)=1$ при $i=0,1,2, 3...$) при нулевых начальных условиях $y(0) = h_{xy}(0)=0$. Это описывается разностным уравнением.

$$h_{xy}(i) + (K - 1) h_{xy}(i - 1) = K1(i - 1), \quad (4)$$

Установившаяся целевая эффективность (несоответствие) для линейно возрастающей целевой функции.

$$r_x(i) = D_1 V T_{II} = \frac{V}{K} T_{II} = const$$

Таким образом, представленные структурные и математические модели некоторых из них в виде разностных уравнений с заданными законами управления ресурсами позволяют аналитически и численно решать ключевые задачи управления.

Таблица 1.

Классификация типовых законов ресурсного управления (ТЗРУ)

Тип ЗРУ	ПФ — оператор ТЗРУ
Пропорционально измеренному целевому рассогласованию (управление СОУ с учетом положения – значения целевой функции)	$\frac{K_{py} [1 + \tau_2 (1 - z^{-1})]}{1 + \tau_1 (1 - z^{-1})}$
С интегрированным целевым рассогласованием (управление СОУ с учетом скорости изменения целевой функции)	$\frac{K_{py} [1 + \tau_2 (1 - z^{-1})]}{(1 - z^{-1}) [1 + \tau_1 (1 - z^{-1})]}$
С дважды интегрированным целевым рассогласованием (управление СОУ с учетом ускорения изменения целевой функции)	$\frac{K_{py} [1 + \tau_2 (1 - z^{-1})]}{(1 - z^{-1})^2 [1 + \tau_1 (1 - z^{-1})]}$

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов А.П., Соловьева С.В.// Докл. БГУИР. 2005. № 1. С. 119–124.
- Ганэ В.А., Мацкевич А.Н. Аналитические методы анализа качества линейных непрерывных и дискретных следящих систем. Мн., 2000.
- Ганэ В.А., Соловьева С.В. Основы теории управления: теория систем и системного анализа. Мн., 2004.
- Лукьянова Л.М. Целеполагание, анализ и синтез целей в сложных системах: модели и методы моделирования. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления, 2007, № 5, с. 100–113.
- Кушников В.А., Мурзин С.И. Разработка моделей целей управления сложными социальными и экономическими системами на основе знаковых оргграфов. Вестник СГТУ, 2009, № 2 (43), с. 202–204.
- Савченко Е.Ю., Белкин А.А. Целеобразование и целедостижение в организациях. Научно-практические исследования, 2017, № 7, с. 179–182.
- Еркин Д.А., Шабалина О.А. Декларативное описание структурных моделей систем. Известия Волгоградского государственного технического университета, 2016, № 3, с. 36–40.
- Давтян А.Г., Шабалина О.А., Садовникова Н.П. и др. Динамическое целеполагание в социально-экономических системах. Вестник компьютерных и информационных технологий, 2016, № 11, с. 46–53. DOI: <https://doi.org/10.14489/vkit.2016.11.pp.046-053>

© Аксенов Сергей Геннадьевич (aks1959prof@gmail.com); Шаймуратова Наталья Игоревна (pavel1112w@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИНТЕЗАТОРА ЧАСТОТЫ С ИМПУЛЬСНЫМ ЧАСТОТНО-ФАЗОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ ФАЗОВЫЕ ПОДПРОСТРАНСТВА

CONSTRUCTION OF A MATHEMATICAL MODEL OF A FREQUENCY SYNTHESIZER WITH A PULSED FREQUENCY-PHASE DETECTOR USING PHASE SUBSPACES

**О. Antonovskaya
А. Besklubnaya**

Summary. Mathematical modeling of the dynamics of discrete phase synchronization systems is a creative process and involves the use of mathematical models of varying degrees of complexity. Typically, the complexity of a mathematical model is mainly related to the dimension of the problem and the design of the state space. Thus, the advisability of using one or another method for its study is dictated by considerations related to the ease of application of the method and the acceptable accuracy of the resulting results.

This paper presents the results of studying the dynamics of a frequency synthesizer with a pulsed frequency-phase detector using the point mapping method. This method considers the specifics of the system under consideration, namely: the abruptly changing nature of the structure of the equations describing the dynamics of the system. The presented mathematical model uses three phase subspaces corresponding to piecewise constancy of the control signal. Importance is attached to the study of possible transitions of the system trajectory between subspaces.

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

Антоновская Ольга Георгиевна

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

Бесklubная Антонина Вячеславовна

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

Аннотация. Математическое моделирование динамики дискретных систем фазовой синхронизации является творческим процессом и подразумевает использование математических моделей различной степени сложности. Как правило, сложность математической модели связана, в основном, с размерностью задачи и конструкцией пространства состояний. Таким образом, целесообразность использования того или иного метода ее исследования диктуется соображениями, связанными с простотой применения метода и приемлемой точностью получающихся результатов.

В настоящей работе приводятся результаты исследования динамики синтезатора частоты с импульсным частотно-фазовым детектором методом точечных отображений. Этот метод учитывает специфику рассматриваемой системы, а именно: скачкообразно изменяющийся характер структуры уравнений, описывающих динамику системы. Приведенная математическая модель использует три фазовых подпространства, соответствующих кусочному постоянству сигнала управления. Особое значение придается изучению возможных переходов траектории системы между подпространствами.

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

Введение

Настоящая работа связана с практически важной прикладной задачей реализации надежной радиосвязи [1,2], в основе которой лежит использование управляемых синтезаторов частот (СЧ) [3], построенных на базе импульсных систем фазовой синхронизации. В таких системах используется широтно-импульсная модуляция (ШИМ) управляющего сигнала, и поэтому их математические модели (ММ) являются частным случаем

систем с переменной структурой (СПС), порядок смены дифференциальных уравнений в которых определяется динамическими свойствами фазовых траекторий движения. Именно в силу этого обстоятельства изучение динамики ММ таких СЧ осуществляется на основе применения метода точечных отображений [4]. С методологической точки зрения метод точечных отображений органически объединяет в единое целое и специфику математической модели, и свойства поведения фазовых траекторий как в локальном, так и в глобальном плане.

В работе [5] была сделана попытка получения качественных сведений нелокального характера об особенностях динамических процессов в системах синхронизации, использующих принцип широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала. В качестве конкретного примера была взята схема синтезатора частоты (СЧ) с импульсным частотно-фазовым детектором типа ИЧФДЗН [3] и идеальным астатическим фильтром. Однако, несмотря на использование общеметодологического подхода к описанию процессов на основе метода точечных отображений, построение соответствующих функций точечных отображений с использованием инженерного подхода, основанного на описании характерных осциллограмм процессов, не позволило в связи с быстрым нарастанием трудностей при анализе, осуществить разбиение пространства параметров на области существования движений различной сложности.

В настоящей работе строится математическая модель системы управления работы [5]. Получение общих результатов оказалось возможным за счет распространения подхода к анализу систем с широтно-импульсной модуляцией систем управления, апробированного в [6,7], на системы с разрывным предельным циклом [8; 9, с.34–42.].

Математическая модель синтезатора частоты, использующая фазовые подпространства

Для наглядности представления предельного перехода от системы с неидеальным астатизмом к системе с идеальным астатизмом, уравнения рассматриваемой математической модели (ММ) СЧ с управляемой координатой x в произвольном периоде следования импульсов опорного генератора (ОГ) запишем в виде: при подключенном выходе детектора

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

и при отключенном выходе детектора на этапе хранения информации

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

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

Согласно методике работ [6,7], учитывающей скачкообразно изменяющийся характер структуры урав-

нений, для изучения поведения фазовых траекторий $\theta(\tau), x(\tau)$ ММ СЧ следует использовать три фазовых подпространства: Π_1 , в котором определена система (1) с $u = +1$; Π_3 , в котором система (1) определена при $u = -1$, — и подпространство Π_2 , в котором определена система (2).

Поскольку при таком подходе к моделированию динамики СЧ режимы работы детектора обусловлены свойствами фазовых траекторий в каждом из подпространств, а при переходе к случаю идеального астатизма ($\mu = +0$) в силу устойчивости (1) по быстрым движениям при $\mu = +0$ участков поверхности $x=u=\text{const}$ фазовая траектория возмущенного при $\mu \neq 0$ циклического движения располагается в $O(\sqrt{\mu})$ -окрестности невозмущенного движения [10], и при этом направление и величина мгновенного скачка по координате x при переходе траектории движения из одного подпространства в другое определены однозначно, — постольку переход к изучению ММ СЧ пониженной размерности является обоснованным, что, в свою очередь, представляется возможностью проведения полного качественного анализа динамики.

Действительно, согласно логике работы детектора, в регулярном случае изображающая точка движения (ИТД) появляется в подпространстве Π_1 после прихода импульса ОГ, т.е. только на границе $\tau = 0$. Персонифицируя эту границу как сечение C_{12} (единица в обозначении соответствует номеру подпространства, а двойка — границе $\tau = 0$), из (1) при $u = +1$ найдем, что перемещение ИТД в Π_1 осуществляется по траектории

$$x(\tau) = +1, \theta(\tau) = \theta_0 + (g(1) / \alpha)\tau, \quad (0 < \tau \leq 1), \quad (3)$$

при условии, что в интервале времени $\tau = [0, +0)$ возможен мгновенный скачок по координате x из начальной точки (x_0, θ_0) в точку $(+1, \theta_0)$. При $x_0 = +1$ такой скачок отсутствует.

При выполнении условия $\alpha < g(1)$ управляемости СЧ из (3) следует, что $\theta(\tau = 1) > 1$ при любых $0 \leq \theta_0 \leq 1$. Но это означает, что движение траектории (3) всегда заканчивается при некотором значении $\tau = \bar{\tau} < 1$, порождая тем самым точечное отображение

$$\begin{aligned} T_{12,21} : \bar{x} &= +1, \bar{\tau} = \\ &= (\alpha / g(1))(1 - \theta_0) \quad (\theta_0 \in C_{12}, (\bar{x}, \bar{\tau}) \in C_{21}) \end{aligned} \quad (4)$$

Поскольку ИТД в Π_1 приходит на границу $\theta = 1$, постольку импульс C появляется раньше, чем очередной импульс ОГ, и, вследствие этого, выход детектора отключается, дальнейшее поведение ИТД определяется уравнениями (1), что, в свою очередь, означает, что осуществляется перенос точки $(\bar{x}, \bar{\tau})$ на сечение C_{21} ($\theta = 0 \in \Pi_2$) (что и отмечено справа от формулы (4)).

В подпространстве Π_2 , согласно (1), движение совершается по траектории

$$x(\tau) = +1, \bar{\tau} = (g(1) / \alpha)(\tau - \tau_0) \quad (0 < \tau \leq 1). \quad (5)$$

Из (5) следует, что в зависимости от величины τ_0 ИТД может перейти по траектории (5) либо на границу $\theta = 1$ (импульс С) с последующим переносом конечной точки движения в подпространство Π_3 , либо на границу $\tau = 1$ (импульс ОГ) с последующим переносом (возвратом) в Π_1 . Указанные движения порождают в Π_2 точечные отображения

$$T_{212,31} : \bar{x} = +1, \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / g(1)) \quad (0 \leq \tau_0 \leq \tau_0(\Gamma_2)), (\bar{x}, \bar{\tau}) \in C_{31}, \quad (6)$$

$$T_{211,12} : \bar{x} = +1, \bar{\theta} = (g(1) / \alpha)(1 - \tau_0)(\tau_0(\Gamma_2) < \tau_0 \leq 1), (\bar{x}, \bar{\tau}) \in C_{12}, \quad (7)$$

и границу Γ_2 их определения —

$$\Gamma_2 : \tau_0(\Gamma_2) = 1 - (\alpha / g(1)). \quad (8)$$

Поскольку ИТД, выходящие из подпространства Π_2 в подпространство Π_1 , вновь возвращаются в Π_2 , целесообразно ввести в рассмотрение отображение $T_1 = T_{112,21} T_{211,12}$. Согласно (4), (7)

$$T_1 : \bar{x} = +1, \bar{\tau} = (\alpha / g(1)) - 1 + \tau_0 \quad (\tau_0(\Gamma_2) \leq \tau_0 \leq 1), (\bar{x}, \bar{\tau}) \in C_{21}. \quad (9)$$

Необходимо отметить, что в отличие от функции соответствия (6), определяющей отображение отрезка $0 \leq \tau_0 \leq \tau_0(\Gamma_2)$, сечения $C_{21} \in \Pi_2$ в соответствующий отрезок другого подпространства (в данном случае — Π_3), функция (9) является функцией последования отображения T_1 , поскольку определяет отображение отрезка $\tau_0(\Gamma_2) \leq \tau_0 \leq 1$, сечения $C_{21} \in \Pi_2$ в соответствующий отрезок того же сечения C_{21} того же подпространства Π_2 . Поэтому график функции соответствия отображения (6) и график функции последования (9) могут быть представлены на одной диаграмме Ламерея ([10, с.505]) (рисунок 1). На рисунке 1 введены обозначения: τ_1 и τ_2 — две близкие точки в окрестности перехода графика функции соответствия отображения $T_{211,31}$ в график функции последования отображения T_1 . Из рисунка 1 наглядно следует, что, несмотря на близость начальных точек $\tau_0 = \tau_1$ и $\tau_0 = \tau_2$, они отображаются в подпространство Π_3 на конечное (большое) расстояние друг от друга. Максимально возможное расстояние между ними в Π_3 равно величине 1 — $(\alpha/g(1))$, т. е. разности между max и min графика функции соответствия. Следовательно, в общем случае отображение сечения C_{21} в сечение C_{31} разрывно и обязано наличием возвратных движений из Π_2 в Π_1 , обуславливающих задержку во времени в передаче сигнала.

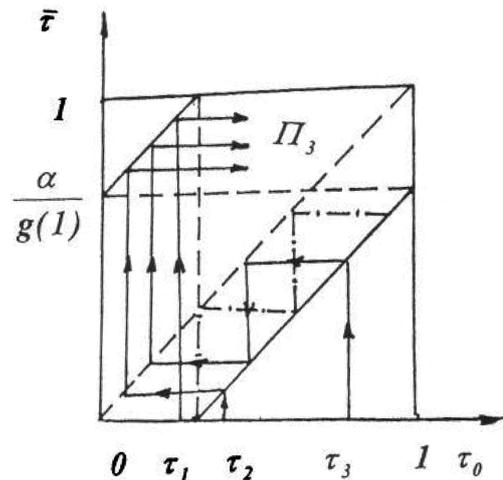


Рис. 1. Диаграмма Ламерея отображений $T_{212,31}$ и T_1

Обозначение τ_3 на рисунке 1 использовано для произвольной начальной точки в области определения отображения T_1 для иллюстрации характера диаграммы (лесенки) Ламерея и подтверждения того факта, что все точки интервала $\tau_0(\Gamma_2) \leq \tau_0 \leq 1$ определения отображения T_1 после некоторого количества итераций переводятся в интервал $0 \leq \tau_0 \leq \tau_0(\Gamma_2)$ определения функции соответствия отображения $T_{212,31}$. Таким образом, интервал $0 \leq \tau_0 \leq \tau_0(\Gamma_2)$ определения отображения $T_{212,31}$ является интервалом-ловушкой, через который в Π_3 проходят итерации, попавшие в Π_2 . На рисунке 2 штрих-пунктирной линией и соответствующими точками на графике функции последования отображения T_1 показаны места появления разрывов у итогового отображения $T_{21,31}$ отрезка $0 \leq \tau_0 \leq 1$ сечения $C_{21} \in \Pi_2$ в подпространство Π_3 , обнаруживаемые с помощью обратной лесенки Ламерея для точки $\tau_0 = \tau_0(\Gamma_2)$.

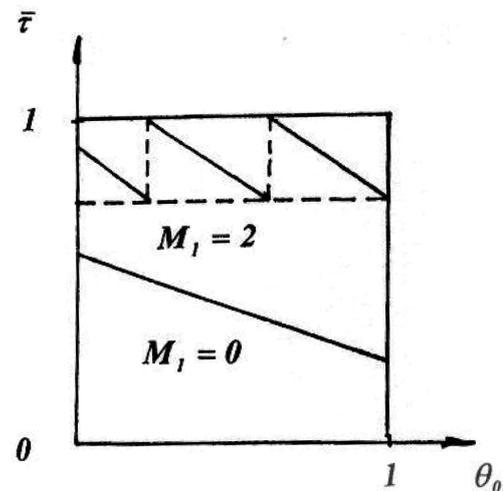


Рис. 2. Вид графиков для отображения T_+

Нетрудно проверить, что

$$T_{21,31} : \bar{x} = +1, \bar{\tau} = \tau_0 + (\alpha / g(1)) - (1 - (\alpha / g(1))m_1) \quad (0 \leq \tau_0 \leq 1) \quad (10)$$

где

$$m_1 = m_1(\tau_0) = \text{ceil}(\tau_0 / (1 - (\alpha / g(1))) - 1), \quad (11)$$

и использует операцию «ceil» округления числа до целого в большую сторону. Поэтому, когда при $\tau_0 < \tau_0(\Gamma_2)$ величина, стоящая за знаком «ceil» в (11) отрицательна, $\text{ceil}(\dots)=0$ и формула (10) совпадает с формулой (6), а при $\tau_0 > \tau_0(\Gamma_2)$ $m_1(\tau_0)$ обозначает число разрывов графика функции соответствия, проходимых лесенкой Ламе-рея, выходящей из точки $\tau_0 = \tau_3$ до попадания в интервал $0 \leq \tau_0 \leq \tau_0(\Gamma_2)$ (рисунок 1).

Поскольку в Π_1 $u=+1$, а в процессе возвратных движений из Π_2 в Π_1 и наоборот, связанных с чередованием импульсов ОГ и С, детектор подключает и отключает один и тот же генератор напряжений (ГН), сохраняя при этом величину $u \equiv +1$, имеет смысл ввести в рассмотрение отображение $T_+ = T_{212,31} T_{12,21}$ точек (x_0, θ_0) сечения $C_{12} \in \Pi_1$ в точки $(\bar{x}, \bar{\tau})$ сечения $C_{31} \in \Pi_3$. Подставляя величину $\bar{\tau}$ из (4) на место величины τ_0 в (10), находим, что

$$\begin{aligned} T_+ : \bar{x} &= +1 \\ \bar{\tau} &= (\alpha / g(1))(m_1 + 2 - \theta_0) - m_1, \quad (12) \\ &(0 \leq \theta_0 \leq 1, (\bar{x}, \bar{\tau}) \in C_{31}), \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} m_1 &= m_1(\theta_0) = \\ &= \text{ceil}(((\alpha / g(1))(2 - \theta_0) - 1) / (1 - (\alpha / g(1)))). \quad (13) \end{aligned}$$

Величина m_1 в (13) является кусочно-постоянной функцией θ_0 и определяет номер участка непрерывности функции соответствия (12), отсчитываемый от значения $\theta_0=1$. Участок графика функции $\bar{\tau} = \bar{\tau}(\tau_0)$ в (12) с $m_1=0$ является базовым и всегда существует. Из (12) следует, что величина $M_1 = \max_{\theta_0} m_1(\theta_0)$ достигается при

$\theta_0=0$ и определяет граничное значение $\alpha = \alpha(M_1)$, при переходе через которое в сторону увеличения α величина M_1 возрастает на единицу, причём

$$\alpha(M_1) = (M_1 + 1)g(+1) / (M_1 + 2) \quad (M_1 = 1, 2, \dots). \quad (14)$$

Из (14) следует, что $\alpha(M_1=0) = g(1)/2$ является границей появления первого разрыва функции соответствия (12), а $\alpha(M_1=\infty) = g(1)$ совпадает с границей управляемости СЧ. Разрывы функции (12) располагаются при $\theta_0 = \theta_{0p}$ (p — разрыв), где

$$\begin{aligned} \theta_{0p} &= 1 - (g(1) / \alpha) - 1(1 + m_1) \\ &(\alpha > g(1) / 2, m_1 = 0, 1, \dots, M_1) \end{aligned} \quad (15)$$

Согласно (12), (15), график функции (12) в месте любого разрыва лежит в диапазоне $\alpha / g(1) \leq \bar{\tau} \leq 1$, а при отсутствии разрывов располагается в интервале

$\alpha / g(1) \leq \bar{\tau} \leq 2\alpha / g(1)$. Вид графиков функции соответствия (12) отображения T_+ для случаев $M_1=0$ и $M_1=2$ приведен на рисунке 2.

Способ прохождения ИТД из подпространства Π_3 в подпространство Π_2 и далее в Π_1 внешне напоминает механизм прохождения ИТД из Π_1 в Π_3 , но отличается по существу. Так в Π_3 ИТД попадает только после появления импульса С, т.е. ее движение в Π_3 начинается из точки (x_0, τ_0) , лежащей на границе $\theta = 0$ (т.е. в сечении C_{31}) и осуществляется, согласно (2), по траектории

$$x(\tau) = -1, 0(\tau) = (g(-1) / \alpha)(\tau - \tau_0), \quad (0 < \tau \leq 1) \quad (16)$$

при условии мгновенного скачка по координате x из точки $x_0 = 1$ в точку $x(\tau=+0) = -1$.

При выполнении условия $\alpha > g(-1)$ управляемости СЧ движение по траектории (16) в силу того, что $\theta(\tau=1)$ при всех $0 \leq \tau_0 \leq 1$ меньше единицы, оказывается на границе $\tau = 1$ подпространства Π_3 при некотором значении $\theta = \bar{\theta}$, порождая тем самым точечное отображение

$$\begin{aligned} T_{31,22} : \bar{x} &= -1, \bar{\theta} = (g(-1) / \alpha)(\tau - \tau_0), \\ &(0 \leq \tau_0 \leq 1, (\bar{x}, \bar{\theta}) \in C_{22}). \end{aligned} \quad (17)$$

Поскольку в Π_3 импульс ОГ всегда появляется раньше, чем импульс С, ИТД переносится из Π_3 в Π_2 на границу $\tau = 0$ (сечение C_{22}) с начальными значениями x и θ , определяемыми соотношениями (17). Дальнейшее движение в подпространстве Π_2 , согласно (2), осуществляется по траектории

$$x(\tau) = -1, 0(\tau) = \theta_0 + (g(-1) / \alpha)\tau \quad (0 \leq \tau \leq 1). \quad (18)$$

В зависимости от величины θ_0 ИТД может перейти по траектории (18) либо на границу $\tau = 1$ (импульс ОГ) с последующим переносом в подпространство Π_1 , либо на границу $\theta = 1$ (импульс С) с последующим переносом (возвратом) в Π_3 . Указанные движения порождают в Π_2 точечные отображения

$$\begin{aligned} T_{221,12} : \bar{x} &= -1, \bar{\theta} = \theta_0 + (g(-1) / \alpha) \\ &(0 \leq \theta_0 \leq \theta_0(\Gamma_4), (\bar{x}, \bar{\theta}) \in C_{12}), \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} T_{222,31} : \bar{x} &= -1, \bar{\tau} = (\alpha / g(-1)) \\ &(\theta_0(\Gamma_4) \leq \theta_0 \leq 1, (\bar{x}, \bar{\tau}) \in C_{31}), \end{aligned} \quad (20)$$

и границу их определения

$$\Gamma_4 : \theta_0(\Gamma_4) = 1 - (g(-1) / \alpha) \quad (21)$$

Поскольку ИТД, выходящие из подпространства Π_2 в подпространство Π_3 , вновь возвращаются в Π_2 , целесообразно ввести в рассмотрение отображение $T_2 = T_{31,22} T_{222,31}$. Согласно (17), (20)

$$T_2 : \bar{x} = -1, \bar{\theta} = (g(-1) / \alpha) - 1 + \theta_0 \quad (22)$$

$$(\theta_0(\Gamma_4) \leq \theta_0 \leq 1, (\bar{x}, \bar{\theta}) \in C_{22}),$$

Необходимо отметить, что в отличие от функции соответствия (19), определяющей отображение отрезка $0 \leq \theta_0 \leq \theta_0(\Gamma_4)$ сечения $C_{22} \in \Pi_2$ в отрезок подпространства Π_1 , функция (22) является функцией последования отображения T_2 , поскольку определяет отображение отрезка $\theta_0(\Gamma_4) \leq \theta_0 \leq 1$ сечения $C_{22} \in \Pi_2$ в соответствующий отрезок того же сечения $C_{22} \in \Pi_2$. Поэтому график функции соответствия (19) и график функции последования (22) могут быть представлены на одной диаграмме Ламерея. Эту диаграмму можно получить, произведя на рисунке 2 следующие преобразования:

$$\tau_0 \rightarrow \theta_0, \bar{\tau} \rightarrow \bar{\theta}, \tau_1 \rightarrow \theta_1, \tau_2 \rightarrow \theta_2, \tau_3 \rightarrow \theta_3,$$

$$\alpha / g(+1) \rightarrow g(-1) / \alpha, \Pi_3 \rightarrow \Pi_1.$$

Повторяя проведенные рассуждения для графиков функции соответствия $T_{222,31}$ и функции последования T_2 , можно отметить, что любая фазовая траектория, уходящая с сечения C_{31} подпространства Π_3 и попадающая затем в Π_2 , оказывается либо сразу, либо после некоторого количества возвратных движений в интервале-ловушке $0 \leq \theta_0 \leq \theta_0(\Gamma_4)$, из которого отображением $T_{221,12}$ переводится в подпространство Π_1 на сечение C_{12} . Поскольку в Π_3 $u = -1$, а в процессе возвратных движений из Π_2 в Π_3 и наоборот, связанных с чередованием импульсов ОГ и С, детектор подключает и отключает один и тот же ГН, сохраняя при этом величину $u \equiv -1$, имеет смысл ввести в рассмотрение отображение T_- точек (x_0, τ_0) сечения $C_{31} \in \Pi_3$ в точки $(\bar{x}, \bar{\theta})$ сечения $C_{12} \in \Pi_1$. Нетрудно проверить, что

$$T_- : \bar{x} = -1, \bar{\theta} = (g(-1) / \alpha)(m_2 + 2 - \tau_0) - m_2, \quad (23)$$

$$(0 \leq \tau_0 \leq 1, (\bar{x}, \bar{\theta}) \in C_{12}),$$

где

$$m_2 = m_2(\tau_0) =$$

$$= \text{ceil}\left(\left(\frac{g(-1)}{\alpha}(2 - \tau_0) - 1\right) / \left(1 - \frac{g(-1)}{\alpha}\right)\right), \quad (24)$$

Величина $m_2(\tau_0)$ в (24) является кусочно-постоянной функцией θ_0 и определяет не только номер участка функции соответствия (23), но и возможный очередной номер ее разрыва. Участок графика функции (24) с $m_2 = 0$ всегда существует, т. е. является базовым, и примыкает к границе $\theta_0 = 1$ ее определения. При $m_2 = 1$ появляется первый разрыв и соответствующий ему участок непрерывности (в дополнение к участку непрерывности с $m_2 = 0$). Из (24) следует, что в общем случае величина $M_2 = \max m_2(\tau_0)$ достигается при $\tau_0 = 0$ и определяет граничное значение $\alpha = \alpha(M_2)$, при переходе через которое в сторону увеличения α величина M_1 возрастает на единицу, причем

$$\alpha(M_2) = (M_2 + 2)g(-1) / (M_2 + 1) \quad (M_2 = 0, 1, \dots). \quad (25)$$

Из (25) следует, что $\alpha(M_2 = 0) = 2g(-1)$ является границей появления первого разрыва функции соответствия (23), а $\alpha(M_2 = \infty) = g(-1)$ совпадает с границей управляемости СЧ. Разрывы функции соответствия (23) располагаются при $\tau_0 = \tau_{op}$, где

$$\tau_{op} = 1 - \left(\frac{\alpha}{g(-1)} - 1\right)(1 + m_2) \quad (26)$$

$$(\alpha < 2g(-1), m_2 = 0, 1, \dots, M_2)$$

Согласно (23), (26) график функции (2.46) в месте любого разрыва лежит в диапазоне $g(-1) / \alpha \leq \bar{\theta} \leq 1$, а при отсутствии разрывов ($M_2 = 0$) располагается в интервале $g(-1) / \alpha \leq \bar{\theta} \leq 2g(-1) / \alpha$. Вид графиков функции соответствия (23) отображения T_- для случаев $M_2 = 0$ и $M_2 = 2$ с точностью до переименования осей совпадает с видом графиков, приведенных для отображения T_+ на рисунке 2.

Заключение

Из приведенных формул для отображений T_+ и T_- следует, что стационарные движения в рассматриваемой ММ СЧ описываются свойствами циклического отображения T равнопроизведению отображений T_+ и T_- , и поэтому для построения диаграммы Ламерея для отображения T достаточно воспользоваться построением графиков функций соответствия отображений T_+ и T_- на одной диаграмме ([10], С.505). Таким образом, возможно полное качественное исследование поведения системы по построенной ММ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шахгильдян В.В., Пестряков А.В. Перспективные направления развития динамической теории дискретных систем фазовой синхронизации для устройств синтеза и стабилизации частот. // *Электросвязь*. — 1993. — № 11. — С.38-42.
2. Шахгильдян В.В., А.А. Ляховкин, В.Л. Карякин и др. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации. — М.: Радио и связь, 1989. — 320 с.
3. Левин В.А., В.Н. Малиновский, С.К. Романов. Синтезаторы частот с системой импульсно-фазовой автоподстройки. — М.: Радио и связь, 1989. — 232 с.
4. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний. — М.: Наука, 1972. — 472 с.
5. Горюнов В.И. Исследование динамики системы управления с многопозиционной широтно-импульсной модуляцией. // *Математическое моделирование и оптимальное управление: Вестник ННГУ*, — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2003. — Вып.1(26). — С.207-215.
6. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Об особенностях методики исследования динамики системы с широтно-импульсной модуляцией и запоминанием сигнала управления. // *Вестник Нижегород. ун-та*. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2008. — №6. — С. 135-140.
7. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. О влиянии диссипации энергии на динамику астатической системы с широтно-импульсной модуляцией управляющего сигнала. // *Вестник Нижегород. ун-та*. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2009. — №4. — С. 141-145.
8. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Анализ формы установившихся процессов в системе синхронизации с импульсным частотно-фазовым управлением при идеальном астатизме фильтра. // *Вестник Нижегород. ун-та*. — Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2013. — №6(1). — С. 173-179.
9. Антоновская О.Г., Горюнов В.И. Разрывные точечные отображения и динамика синтезаторов частот. — LAP Lambert Academic Publishing, OmniScriptum GmbH, Deutschland / Германия, 2014. — 101 с. (ISBN 978-3-659-58573-9)
10. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.Э. Теория колебаний. — М.: Физматгиз, 1959. — 915 с.

© Антоновская Ольга Георгиевна (olga.antonovskaja@yandex.ru); Бесклубная Антонина Вячеславовна (antbesk@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СЛУЧАЙНЫХ ЧИСЕЛ ДЛЯ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДОСТУПА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ

PROSPECTS OF APPLICATION OF HIGH-SPEED RANDOM NUMBER GENERATORS FOR ACCESS AUTHENTICATION AND KEY DISTRIBUTION

S. Arvanova

Summary. The main prospects of application of high-speed random number generators for access authentication and key distribution are considered. The main advantages of using superlattices based on physically unclonable functions are presented. An approximate algorithm of software realization of the presented idea is also presented.

Keywords: quantum key distribution, quantum random number generator, authentication, superlattices.

Арванова Саният Мухамедовна

Старший преподаватель,

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»;

Аспирант, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

sani_07@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются основные перспективы применения высокоскоростных генераторов случайных чисел для аутентификации доступа и распределения ключей. Представлены основные преимущества применения сверхрешеток на основе физически неклонированных функций. Также представлены примерный алгоритм программной реализации представленной идеи.

Ключевые слова: квантовое распределение ключей, квантовый генератор случайных чисел, аутентификация, сверхрешетки.

Схемы аутентификации доступа и распределения ключей являются первой линией защиты сети и являются важной технологией для предотвращения нелегальных терминалов и обеспечения безопасности.

Высокая мобильность, низкое время задержки и ограниченные ресурсы предъявляют более высокие требования к вопросам безопасности, включая безопасность идентификации и данных. Кроме того, доступ в любое время означает высококачественные сетевые услуги, такие как динамический доступ и плавный механизм идентификации передачи, вызванный перемещением спутников.

Аутентификация доступа и распределение ключей (ADK) играют важную роль в обеспечении безопасности сетей и являются первой линией защиты от нелегального доступа и атак. Актуальность ADK обусловлена следующими причинами (схема 1):

1. Усиление киберугроз: киберугрозы становятся все более изощренными и многочисленными. Атаки на сети и системы совершаются с целью кражи данных, нарушения работы или получения несанкционированного доступа. ADK позволяет предотвратить нелегальный доступ к сети и защитить ее от неавторизованных пользователей.
2. Рост числа подключенных устройств: С развитием Интернета вещей (IoT) и мобильных технологий количество устройств, подключенных к сети, постоянно растет. Это увеличивает площадь распространения атаки и делает сети более уязвимыми

для несанкционированного доступа. ADK позволяет обеспечить безопасный доступ для всех подключенных устройств и предотвратить нелегальный доступ к сети.

3. Необходимость соответствия нормативным требованиям: Многие организации обязаны соблюдать нормативные требования, которые требуют внедрения надежных механизмов аутентификации и распределения ключей. ADK позволяет организациям соответствовать этим требованиям и защитить свои сети от несанкционированного доступа.



Схема 1. Актуальность ADK

4. Повышение эффективности и удобства использования: Современные технологии ADK обеспечивают высокую эффективность и удобство использования. Они позволяют пользователям легко и быстро проходить аутентификацию, не тратя много времени на ввод паролей или других идентификационных данных.
5. Интеграция с другими системами безопасности: ADK может быть интегрирована с другими системами безопасности, такими как межсетевые экраны, системы обнаружения вторжений (IDS) и системы предотвращения вторжений (IPS). Это позволяет создать многоуровневую систему безопасности, которая обеспечивает надежную защиту сети от различных угроз.

Таким образом, актуальность ADK обусловлена необходимостью защиты сетей от нелегального доступа, соответствием нормативным требованиям, повышением эффективности и удобства использования, а также интеграцией с другими системами безопасности.

Применение сверхрешеток в области аутентификации доступа и распределения ключей может быть связано с использованием их уникальных физических свойств для обеспечения безопасности информации. Например, сверхрешетки могут обладать особыми оптическими, электрическими или магнитными свойствами, которые можно использовать для создания новых методов аутентификации и шифрования.

Применение сверхрешеток при аутентификации доступа и распределении ключей может иметь несколько потенциальных преимуществ:

- Физическая безопасность: Сверхрешетки могут быть использованы для создания уникальных физических меток аутентификации, которые трудно скопировать или подделать. Это обеспечивает дополнительный уровень безопасности при идентификации пользователей или устройств.
- Устойчивость к взломам: из-за уникальных свойств сверхрешеток, таких как особые оптические или электрические характеристики, системы, основанные на них, могут быть более устойчивы к различным видам атак, включая попытки взлома или подделки ключей.
- Сложность взлома: Использование сверхрешеток для распределения ключей может усложнить задачу злоумышленников при попытке взлома системы. Это связано с особыми свойствами сверхрешеток, которые могут создавать уникальные ключи или механизмы шифрования.
- Устойчивость к квантовым атакам: Некоторые сверхрешетки могут обладать свойствами, которые делают их более устойчивыми к атакам, основанным на квантовых вычислениях. Это может

быть важно при разработке криптографических методов, устойчивых к будущим квантовым технологиям.

- Инновационные методы шифрования: Применение сверхрешеток может способствовать разработке новых инновационных методов шифрования и аутентификации, которые могут быть более эффективными и безопасными по сравнению с традиционными подходами.

Генераторы случайных чисел на полупроводниковых сверхрешётках (PRNG) — это устройства, которые используют квантово-механические эффекты в полупроводниковых сверхрешётках для генерации случайных чисел. Сверхрешётка — это структура, состоящая из чередующихся слоёв двух или более полупроводниковых материалов.

PRNG работают следующим образом:

Электрический ток пропускается через сверхрешётку, что приводит к генерации носителей заряда (электронов и дырок). Носители заряда движутся по сверхрешётке, сталкиваясь с дефектами и носителями заряда. Эти столкновения приводят к случайным изменениям в движении носителей заряда, которые преобразуются в случайную последовательность бит с помощью электронных схем.

Генераторы на полупроводниковых сверхрешётках являются перспективным направлением в области генерации случайных чисел. Они обладают высокой скоростью генерации, не требуют использования внешних источников случайности и могут быть легко интегрированы в электронные устройства. Это делает их идеальными для использования в различных приложениях, где требуется генерация случайных чисел.

В [1] исследована аутентификация доступа и распределения ключей на основе SSL-PUF для интегрированной сети «космос-воздух-земля», которая может защитить от атак «маскарадов» с и атак типа «злоумышленник посередине».

В [2] описана реализация и тестирование генератора случайных чисел и доказана их высокая стойкость к возможным атакам. А в [3] приводится, что если в классических системах симметричного шифрования секретные ключи меняются на передающей и приемной сторонах при помощи оператора, то частая смена ключей, например, раз десятки секунд, практически невозможна. Если секретные ключи меняются не столь часто, то они используются как мастер-ключи для получения производных от них сеансовых ключей, что в принципе может приводить к понижению криптостойкости системы.

В [5] изложены этапы развития формирования теории квантовой криптографии. Освещены два основных направления развития систем квантового распределения ключей. Дан сравнительный анализ существующих протоколов распределения ключей: BB84, B92, 4+2, с шестью состояниями, Гольденберга-Вайдмана, Коаши-Имото и ЭПР. Приведены типовые структуры систем квантового распределения ключей на основе кодирования информации в поляризаационных, фазовых и временных состояниях фотонов. Сформулированы перспективы развития систем квантового распределения ключей.

Генераторы случайных чисел на полупроводниковых сверхрешётках в данном случае более чем актуальны.

Полупроводниковые сверхрешетки могут использоваться для шифрования данных в пост-квантовой криптографии, используя технику обмена ключами на основе одиночных фотонов. В таком случае полупроводниковые сверхрешетки могут использоваться для генерации и детектирования одиночных квантов. Они могут создавать фотоны с определенным спином, который является своего рода «ключом» для шифрования данных. Этот спин может изменяться в зависимости от состояния сверхрешетки.

Шифрование происходит следующим образом: отправитель и получатель обмениваются одиночными фотонами, где состояние спина сверхрешетки используется для шифрования информации. Отправитель передает фотоны с различными спинами, которые являются «ключом», и получатель использует свой собственный набор сверхрешеток, чтобы определить спин каждого фотона и восстановить информацию.

Полупроводниковые сверхрешетки обеспечивают высокую эффективность генерации и детектирования одиночных фотонов, что делает их привлекательными для пост-квантовой криптографии. Они также обладают преимуществами в виде высокой скорости передачи данных и потенциала интеграции с другими полупроводниковыми элементами, что делает их перспективной технологией для будущих систем шифрования.

Алгоритм работы полупроводниковых сверхрешеток определяется их структурой и функциональностью. В основе работы сверхрешеток лежит использование квантовых эффектов, таких как квантовая яма или квантовая проволока, для создания уникальных электронных состояний.

Один из самых распространенных алгоритмов работы сверхрешетки — это туннелирование электронов между квантовыми состояниями внутри структуры. Когда сверхрешетка подвергается воздействию электрического поля или освещению, происходит просачивание

электронов через энергетические барьеры между состояниями. Это создает эффект переноса заряда или генерацию фотоэлектрической энергии.

У полупроводниковых сверхрешеток также существуют другие алгоритмы работы, связанные с применением их в оптических и электронных устройствах, таких как лазеры, светодиоды, фототранзисторы и другие. Эти алгоритмы могут быть связаны с взаимодействием с электрическими полями или другими формами энергии, которые предоставляются внешними источниками.

Использование сверхрешеток для шифрования иллюстрируется следующей программой:

```
import numpy as np.
# Задаем сверхрешетку
supergrid = np.array([[1, 2, 3],
[4, 5, 6],
[7, 8, 9]])
# Вводим сообщение для шифрования
message = input(«Введите сообщение для шифрования:»)
# Преобразуем сообщение в числовой массив
message_nums = np.array([ord(char) for char in message])

# Шифруем сообщение
encrypted_message = np.dot (message_nums,
supergrid) % 26
# Выводим зашифрованное сообщение
print («Зашифрованное сообщение:», «».join ([chr(num
+ 65) for num in encrypted_message]))
```

Программа работает следующим образом:

- сверхрешетка задается в виде двумерного массива. supergrid;
- пользователю предлагается ввести сообщение для шифрования;
- сообщение преобразуется в числовой массив, где каждой букве соответствует числовое значение. message_nums;
- производится умножение числового массива на сверхрешетку по модулю 26, чтобы получить зашифрованное сообщение;
- зашифрованное сообщение выводится на экран в виде буквенной строки.

Надо заметить, что использование сверхрешеток SLP (Stochastic Logic Processor) в качестве метода шифрования с использованием физически неклонированных функций позволит проводить генерацию уникальных ключей

Использование физически неклонированных функций SLP решетки может сделать систему более устойчивой к различным видам атак, включая атаки на основе перебора ключей или полного доступа к системе.

Применение сверхрешеток для аутентификации доступа и распределения ключей может обеспечить дополнительный уровень безопасности, особенно в контексте устойчивости к квантовым атакам. Надежность

сверхрешеток при аутентификации и распределении ключей зависит от конкретного типа сверхрешетки, ее свойств и применяемых криптографических протоколов

ЛИТЕРАТУРА

1. Li Wei Xu, Han Wu, Jian Guo Xie, Qiong Yuan, Ying Sun, Guo Zhen Shi, Shou Shan Luo Схема аутентификации доступа и распределения ключей на основе SSL-PUF для интегрированной сети «космос-воздух-земля» // Journal. Entropy (ISSN 1099–4300)
2. Беспалов Д.Б., Белим С.В. Реализация генератора случайных чисел на базе звуковой карты // МСМ. 2010. №1 (21). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-generatora-sluchaynyh-chisel-na-baze-zvukovoy-karty> (дата обращения: 08.02.2024).
3. Балыгин К.А., Зайцев В.И., Климов А.Н., Кулик С.П., Молотков С.Н. Квантовый генератор случайных чисел, основанный на пуассоновской статистике фотоотсчетов, со скоростью около 100 МБИТ/С // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2018. Т. 126. № 6. С. 728–740.
4. Архангельская А.В. Некоторые аспекты разработки генераторов случайных чисел / А.В. Архангельская // Безопасность информационных технологий — 2004 — № 3 — С 45–48.
5. К.Е. Румянцев, Д.М. Голубчиков Квантовая криптография: принципы, протоколы, системы // Учебное пособие. — Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. — 122 с.

© Арванова Саният Мухамедовна (sani_07@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СРАВНЕНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С МЕТОДОМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Ахметов Ильшат Зуфарович

Казанский (Приволжский) федеральный университет
ilshat.achmetov@gmail.com

COMPARISON OF CLASSICAL METHODS FOR NUMERICAL SOLUTION OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH THE NEURAL NETWORK METHOD

I. Akhmetov

Summary. In this paper, the method of artificial neural networks was constructed for the numerical solution of various differential equation types. This method is also known as the PINN, i.e., physics-informed neural network. The main idea of the method is to minimize the squared residual of the equation, in which the solution of the equation is sought using an artificial neural network. Currently there are much research related to this method, thus there is need to examine this method in detail and compare with other methods, first the classical ones. Several examples were provided to compare this method with classical methods for the numerical solution of differential equations in terms of accuracy. To implement the neural network method author developed a program on python programming language using PyTorch — a framework for deep learning.

Keywords: artificial neural networks, differential equations, approximation, numerical methods.

Аннотация. В данной работе построен метод искусственных нейронных сетей для численного решения различных типов дифференциальных уравнений. Данный метод так же известен как PINN, то есть physics-informed neural networks. Суть метода заключается в минимизации квадрата невязки уравнения, в котором решение уравнения ищется с помощью искусственной нейронной сети. В настоящее время активно ведутся исследования в области данного метода, в связи с чем возникла необходимость в его детальном изучении и сравнении с другими методами. Приведен ряд примеров для сравнения точности данного метода с классическими методами численного решения дифференциальных уравнений. Для имплементации метода автором была разработана программа на языке Python с применением фреймворка глубокого обучения PyTorch.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, дифференциальные уравнения, аппроксимация, численные методы.

Введение

В настоящее время активно ведутся исследования в области применения нейронных сетей для численного решения дифференциальных уравнений. На западе данный метод известен прежде всего под названием PINN, что является сокращением от physics-informed neural network. На русский язык это можно перевести как физически обусловленную нейронную сеть, то есть нейронную сеть, параметры которой определены физическими законами. Такое название объясняется тем, что данный метод применялся в основном для решения физических уравнений, выведенных на основе законов физики.

Исследования в данной области ведутся еще с 90-х годов прошлого столетия. В настоящее время исследователи применяют данный метод для решения обратной задачи уравнений Максвелла [1], для решения уравнений Навье–Стокса [2], а также для решения нелинейных интегро-дифференциальных уравнений [3]. Так же данный метод может применяться для решения дифференциальных уравнений дробного порядка [4], [5].

У данного метода очень много других применений. Все это вызывает необходимость исследовать вопрос сходимости данного метода, а также его точности. Цель данной работы — построить алгоритм решения дифференциальных уравнений методом нейросетей и сравнить точность метода с точностью таких классических методов, как методы Галеркина и МКЭ для решения краевых задач, а также с методами Эйлера и Рунге–Кутты 4-го порядка для решения задачи Коши. Для сравнения будет использован ряд типовых примеров с известным аналитическим решением.

Постановка задачи

Рассмотрим дифференциальное уравнение в операторной форме

$$Du = f \quad (1)$$

определенное на некоторой области Ω , а также оператор A , определяющий граничные и начальные условия на $\partial\Omega$

$$Au = g \quad (2)$$

Искомую функцию u будет аппроксимировать с помощью искусственной нейросети $\hat{u} = NN$. Выберем n узлов на области Ω . К примеру, в одномерном случае для уравнения, определенного на $x \in [a, b]$ можно выбрать узлы равномерно с шагом $h = \frac{b - a - 2\varepsilon}{n - 1}$. Здесь ε — некая очень малая положительная константа $b - a \gg \varepsilon$, нужная для того, чтобы не включать граничные узлы в основную область. Таким образом, узлы будут определяться формулой $x_i = a + \varepsilon + hi, i \in \{0, 1, \dots, n - 1\}$. На $\partial\Omega$ аналогичным образом выберем m узлов.

Пусть $R(\hat{u}, x_i)$ — значение невязки в точке x_i на Ω при аппроксимации решения с помощью \hat{u} . Аналогично, $r(\hat{u}, x_i)$ — значение невязки на границе области $\partial\Omega$ либо в узлах, значение функции u в которых определяется начальными условиями. Построим так называемую функцию потерь

$$L(\hat{u}) = \frac{\sum_{i=1}^n R^2(\hat{u}, x_i) + \alpha \sum_{j=1}^m r^2(\hat{u}, x_j)}{N} \quad (3)$$

По сути, это функционал от аппроксимации \hat{u} , который необходимо минимизировать для нахождения аппроксимации. Здесь $\alpha > 0$ — коэффициент, отвечающий за то, насколько сильно стоит штрафовать функционал за нарушение граничных условий. Выбирать его можно по-разному, например так, чтобы выполнялось условие $\alpha m = 0.1n$. Можно сказать, необходимо найти функцию \hat{u} , такую, что

$$\hat{u} = \underset{u}{\operatorname{argmin}} [L(u)] \quad (4)$$

Если есть возможность подобрать аппроксимацию \hat{u} , в точности удовлетворяющую граничным условиям, то уравнение (3) упрощается. К примеру, если функция определена на $x \in [0, 1]$ и заданы граничные условия такие, что $u(0) = 1, u(1) = 2$, то аппроксимацию можно представить в виде $\hat{u}(x) = 1 + x + (x - 1)(2 - x)NN(x)$. Не трудно видеть, что в данной форме аппроксимация в точности удовлетворяет граничным условиям. Тогда уравнение (3) запишется в виде

$$L(\hat{u}) = \frac{\sum_{i=1}^n R^2(\hat{u}, x_i)}{N}. \quad (5)$$

К примеру, именно в такой форме, удовлетворяющей граничным условиям нейронные сети были применены исследователями в работе [6].

Таким образом, решение дифференциального уравнения было сведено к задаче оптимизации.

Теоретические сведения

В 1989 Джордж Цыбенко доказал [7] универсальную теорему аппроксимации, утверждающую, что любая непрерывная функция $f(x)$ на кубе $[0, 1]^n$ может быть сколь угодно точно аппроксимирована с помощью функции вида

$$G(x) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \varphi(w_i^T x + \theta_i) \quad (6)$$

при надлежащем выборе значений $\alpha \in R^N, w_i \in R^N, \theta \in R^N$ и достаточно большого значения N . Здесь φ — сигмоида. В данной формуле нетрудно увидеть простейшую полносвязную нейронную сеть с одним скрытым слоем. Здесь и далее такие сети будут обозначать как MLP, что значит multilayer perceptron.

Несмотря на то, что данная теорема указывает на возможность аппроксимации непрерывной на $[0, 1]^n$ функции в форме (6) она не дает никаких указаний, как данную аппроксимацию найти.

Рассматриваемый метод (3) является по сути вариацией дискретного варианта метода наименьших квадратов. Нужно подчеркнуть — именно вариацией, поскольку в классическом методе наименьших квадратов искомая функция аппроксимируется линейной комбинацией неких базисных линейно независимых функций, например полиномов.

В данном же методе аппроксимацией служит нейронная связь. Ниже представлена функция, определяющая простую MLP с двумя скрытыми слоями и N нейронами в скрытых слоях, такой что $NN : R^n \rightarrow R$

$$NN(x) = W_3 \varphi(W_2 \varphi(W_1 x + b_1) + b_2) + b_3 \quad (7)$$

Здесь

$$W_3 \in R^{1,N}, W_2 \in R^{N,N}, W_1 \in R^{N,n}, b_1, b_2 \in R^n, b_3 \in R.$$

В качестве функции активации φ могут использоваться, к примеру гиперболический тангенс или сигмоида, хотя на этом выбор не ограничен. На рис. 1, представлена схема такой нейросети.

Для нахождения производной данной функции по одному из параметров, например для нахождения производной $NN(x)$ по компоненте $w_{i,j}^2$ в i -строке и j -столбце матрицы W_2 нужно использовать правило цепочки дифференцирования сложной функции. Даже для небольшой двуслойной сети число параметров может исчисляться тысячами. Очевидно, что если применять стандартный подход МНК, предполагающий нахождение

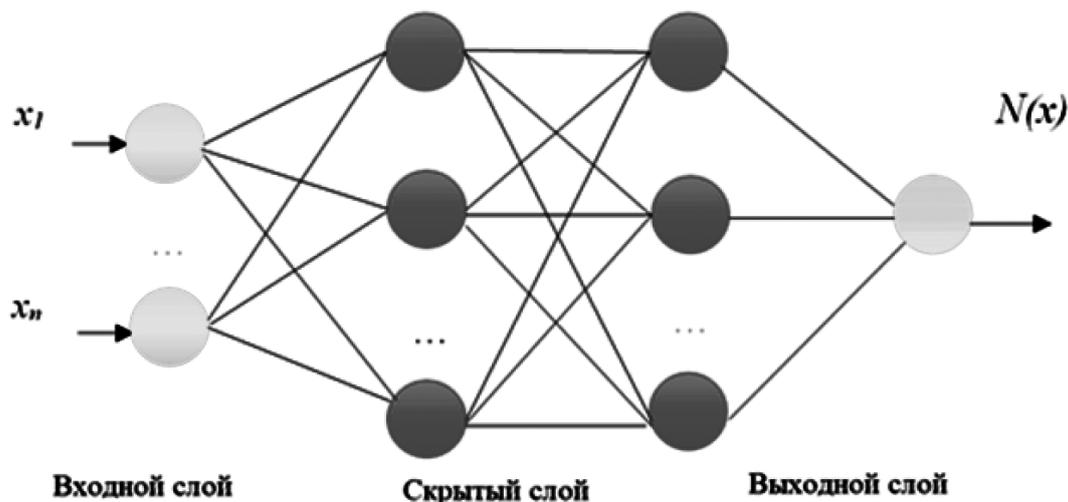


Рис. 1. Схема искусственной нейронной сети с 2 скрытыми слоями

производных функционала по параметрам аппроксимации и приравнивания нулю, то получится система из тысяч нелинейных уравнений, которая практически нерешаема. Поэтому в данном методе используют другой подход, использующий модификацию градиентного спуска либо метода Ньютона, о чем будет идти речь в следующем параграфе.

Вообще говоря, можно выбрать различные типы архитектуры нейронной сети, главное, чтобы получившаяся аппроксимация была достаточное число раз дифференцируема. В данной статье будет использована только MLP.

В книге Марчука Г.И. [8] на стр. 75 дано условие, при котором МНК применительно к дифференциальным уравнениям сходится. Автор утверждает, что последовательные приближения u^h метода наименьших квадратов сходятся в F к точному решению u уравнения (1), если уравнение однозначно разрешимо, последовательность DF^h полна в множестве значений $\ddot{O}(D)$ и обратный оператор D^{-1} существует и ограничен. Здесь F — гильбертово пространство, в котором определена искомая функция u , F^h — конечномерное пространство с некоторым базисом $\phi_1^h, \phi_2^h, \dots, \phi_N^h$, такое, что $F^h \in \ddot{O}(D)$ — область определения D . Однако здесь нужно сделать замечание, что в данном методе аппроксимация определяется не как линейная комбинация линейно-независимых функций, а как сложная функция, суперпозиция простых функций.

Описание алгоритма

Пусть θ — параметры нейросетевой аппроксимации (7), такие как W_3, W_2, b_1 и т. д. Для решения задачи (4) необходимо их каким-то образом настроить. Как уже отмечалось, нахождение частных производных и приравнивание к нулю в данном случае не подойдет. Но есть

другие методы, такие как модификации градиентного спуска и метода Ньютона. Их суть заключается в итеративном подборе параметров

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \alpha_n \bar{d} \quad (8)$$

Здесь α_n — некое положительное значение, так называемый learning rate, то есть скорость обучения. В частном случае можно принять это значение за константу α , а \bar{d} — некое приращение параметров θ . В классическом градиентном спуске это просто антиградиент функции потерь (3) или (5) по параметрам аппроксимации, то есть $-\dot{L}_0(\hat{u})$, а в методе Ньютона — это произведение матрицы, обратной к гессиану на антиградиент функции, то есть $-\mathcal{H}(L(\hat{u}))^{-1} \dot{L}_0(\hat{u})$. В методе LBFGS, который будет использован в данной работе и который является модификацией метода Ньютона вместо данного значения, будет находиться его аппроксимация. Теперь опишем алгоритм настройки параметров аппроксимации θ .

1. Построим аппроксимацию u , функцию потерь (3) либо (5) и инициализируем параметры аппроксимации θ_0 некоторыми начальными значениями, выберем α , максимальное количество итераций N и некоторые очень малые положительные константы ϵ_1, ϵ_2 .
2. На шаге n алгоритма, $n \geq 1$ находим новое значение параметров аппроксимации θ_n по правилу (8) с помощью алгоритма LBFGS
3. Если шаг $n \geq N$ либо выполняется $\|\theta_n - \theta_{n-1}\| < \epsilon_1$ или $\|L(\hat{u}(\theta_n))\| < \epsilon_2$, то прекращаем итеративный процесс, в противном случае возвращаемся к шагу 2.

Как видно, данный алгоритм предполагает, что если значение квадрата невязки достаточно близко к нулю, то

аппроксимация является хорошим приближением к искомому решению.

Нужно так же отметить, что для нахождения производных и обновления параметров нейросети θ в современной практике используется алгоритм backpropagation, суть которого заключается в последовательном нахождении производных от слоя к слою, дифференцируя функцию потерь сразу по векторам либо матрицам параметров нейросети, поскольку нахождение производной функции потерь по каждому параметру-скаляру крайне долго и неэффективно. К примеру, производная $\frac{\partial L}{\partial W_2}$ функции (7) находится по правилу цепочки, используя найденные ранее значения производных $\frac{\partial L}{\partial W_3}, \frac{\partial L}{\partial \delta_2}$, где $\delta_2 = W_2 \phi(W_1 x + b_1) + b_2$.

Численные эксперименты

Далее будет приведен ряд примеров для сравнения метода нейронных сетей с классическими методами. В данной работе в методе Галеркина аппроксимация выбирается так, чтобы в точности удовлетворять граничным условиям. Для МКЭ в одномерном случае используются простые кусочно-линейные полиномы, а в двумерном — прямоугольные элементы. В МКЭ интегрирование производится с помощью метода средних прямоугольников. Во всех случаях, включая методы Эйлера и Рунге-Кутты 4-го порядка узлы выбираются равномерно на области Ω .

Для оценки точности решения будет использоваться норма $\|x\|_\infty = \max(|x_1|, |x_2|, \dots, |x_n|)$, так как данная норма хорошо интерпретируема и понятна человеку.

Для применения метода нейросетей автором была разработана программа на языке Python с применением фреймворка глубокого обучения PyTorch.

Всюду в примерах ниже будут использованы параметры нейросетевой аппроксимации и настройки ее параметров, представленные в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры обучения и нейросетевой аппроксимации

Количество скрытых слоев	1
Количество нейронов в слое	20
Скорость обучения \dot{a}	0.1
Количество итераций метода	40

Теперь рассмотрим примеры для сравнения нейросетевого метода с классическими численными методами.

Пример 1.

$$u_{tt} + 0.2u_t + u = -0.2e^{(-0.2t)} \cos(t)$$

$$u(0) = 0$$

$$u(1) = \sin(1)e^{-0.2}$$

$$t \in [0, 1]$$

Точное решение данной задачи

$$u(t) = e^{-0.2t} \sin(t)$$

В методе Галеркина решение аппроксимировалось с помощью функции

$$\tilde{u}(t) = t \sin(1) e^{-0.2} + \sum_{i=1}^{10} \alpha_i (1-t)^i$$

То есть количество базисных функций в методе Галеркина — 10.

В таблице 2 представлено сравнение максимальных абсолютных погрешностей рассмотренных методов. Здесь и далее под ИНС понимается метод искусственных нейронных сетей.

Количество узлов в методе ИНС большее, чем 15 не приводило к повышению точности.

Таблица 2.

Сравнение погрешностей методов

Метод	$\ u - \hat{u}\ _\infty$	Количество базисных функций/узлов
ИНС	$7.6e - 7$	15
МКЭ	$1.83e - 8$	1000
Метод Галеркина	$2.37e - 13$	10

Пример 2.

Решение задачи Коши для системы ОДУ

$$x' = -y$$

$$y' = x + \cos(t)$$

$$x(0) = 0$$

$$y(0) = 0$$

$$t \in [0, 1]$$

Для данной задачи известно точное решение

$$x = -0.5t \sin(t)$$

$$y = t \cos(t) + 0.5 \sin(t)$$

Нейросетевую аппроксимацию выберем так, чтобы она в точности удовлетворяла граничным условиям.

$$\hat{u}_1(t) = t NN_1(t)$$

$$\hat{u}_2(t) = t NN_2(t)$$

Таблица 3.

Сравнение погрешностей методов

Метод	$\ u - \hat{u}\ _{\infty}$	Количество узлов
ИНС	$3.05e - 5$	20
Метод Эйлера	$6.07e - 4$	1001
Метод Рунге-Кутты 4	$1.09e - 7$	101

Точность методов Рунге-Кутты и Эйлера можно улучшить, увеличивая число узлов. В методе ИНС увеличение числа узлов не привело к улучшению точности.

Пример 3.

Рассмотрим уравнение в частных производных

$$\begin{aligned}
 u_{xx} + u_{yy} + 1 &= 0 \\
 u(x, -1) = u(1, y) &= 0 \\
 u(-1, y) = u(x, 1) &= 0 \\
 x \in [-1, 1] y \in [-1, 1]
 \end{aligned}$$

Данное уравнение описывает движение ламинарной жидкости в трубе. Пример взят из книги Флетчера [9] на стр. 24. В ней же показано, что решением уравнения является функция

$$\begin{aligned}
 u(x, y) &= \\
 &= \left(\frac{8}{\pi^2}\right) \sum_{i=1,3,5..}^{\infty} \sum_{j=1,3,5..}^{\infty} \frac{(-1)^{(i+j)/2-1}}{ij(i^2 + j^2)} \cos\left(ix \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(jy \frac{\pi}{2}\right)
 \end{aligned}$$

В методе Галеркина искомая функция будет аппроксимироваться выражением

$$\tilde{u}(t) = \sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^6 \alpha_{i,j} (1 - x^2)^i (1 - y^2)^j$$

Такая аппроксимация состоит из 36 базисных функций.

В МКЭ число узлов равно $50 \times 50 = 2500$. Для нейросетевого метода количество узлов выбрано равным $20 \times 20 = 400$, а аппроксимация была представлена в виде, удовлетворяющем граничным условиям:

$$\hat{u}(x, y) = NN(x, y)(1 - x^2)(1 - y^2)$$

В таблице 4 представлено сравнение точности методов на данном примере.

Таблица 4.

Сравнение погрешностей методов

Метод	$\ u - \hat{u}\ _{\infty}$	Количество узлов/базисных функций
ИНС	$1.51e - 3$	400
МКЭ	$2.13e - 4$	2500
Метод Галеркина	$7e - 5$	36

Заключение

Здесь было приведено лишь небольшое число примеров, показывающих, что нейросетевой метод сильно проигрывает в точности классическим методам. Сравнительно небольшое число узлов в методе ИНС может произвести ложное впечатление о точности метода, однако в методе ИНС увеличение количества узлов приводило к увеличению точности лишь до некоторого момента, причем число узлов при этом было сравнительно невелико, в то время как для классических методов увеличением числа базисных функций/узлов теоретически можно достичь какой угодно точности, на практике, разумеется, ограниченной способом хранения и обработки числа в ЭВМ. Автором было проведено намного больше экспериментов, во всех них результат был аналогичен. Стоит отметить, что выбор параметров аппроксимации и обучения ИНС сильно влияет на результат, и здесь выбор параметров — процесс скорее эвристический.

Однако у данного метода есть и свои преимущества. Первое — это некоторая универсальность, т.к алгоритм минимизации функции потерь (3) и (5) остается тем же, независимо от класса уравнения, будь то задача Коши для ОДУ, эллиптическое, параболическое либо любое другое уравнение, в то время как для классических методов схемы решения могут существенно отличаться для разных классов уравнений, и следовательно нужно писать различные программы для их решения. Более того, алгоритм нейросетевого метода практически без изменений может быть применен для решения интегральных и интегро-дифференциальных уравнений [10]. Так же данный метод может быть применен для решения жестких ОДУ [11]. Дополнительно о преимуществах и недостатках нейросетевого метода можно прочитать в обзорной статье [12].

В настоящее время статьи на данную тему публикуются в таких ведущих журналах, как Nature [13]. Это говорит о том, что исследования свойств и поиски путей улучшения, а также изучение вопросов практического применения данного метода активно продолжаются.

В качестве возможных путей модернизации данного метода можно отметить поиск более совершенных функций потерь (3), алгоритмов минимизации, а также разработка новых архитектур нейросетей, к примеру недавно вышедшая архитектура KANN (Kolmogorov-Arnold neural network) [14]

ЛИТЕРАТУРА

1. Shiyuan Piao and Hong Gu and Aina Wang and Pan Qi. A Domain-adaptive Physics-informed Neural Network for Inverse Problems of Maxwell's Equations in Heterogeneous Media // *APL Photonics* 7, 011301 (2022). arXiv:2308.06436
2. Xiaowei Jin, Shengze Cai, Hui Li, George Em Karniadakis. NSFnets (Navier-Stokes flow nets): Physics-informed neural networks for the incompressible Navier-Stokes equations // *Journal of Computational Physics*, Volume 426, 2021, 109951, ISSN 0021-9991, \url{https://doi.org/10.1016/j.jcp.2020.109951}
3. Lei Yuan, Yi-Qing Ni, Xiang-Yun Deng, Shuo Hao. «A-PINN: Auxiliary physics informed neural networks for forward and inverse problems of nonlinear integro-differential equations» // *Journal of Computational Physics*, Volume 462, 2022.
4. N.T. Duc, A.F. Galimyanov, I.Z. Akhmetov. Artificial neural network method for solving a fractional order differential equation with the cauchy-type problem // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon) / IEEE. — 2023. — Pp. 329–334, doi: 10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110823.
5. N.T. Duc, A.F. Galimyanov, I.Z. Akhmetov. Neural network method for solving fractional differential equations á with the dirichlet problem // 2023 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon) / IEEE. — 2023. — Pp. 295–300, doi: 10.1109/SmartIndustryCon57312.2023.10110785.
6. Lagaris I.E, Likas A. and Fotiadis D.I. Artificial neural networks for solving ordinary and partial differential equation // *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 9, no. 5, pp. 987–1000, Sept. 1998.
7. Cybenko G.V. Approximation by Superpositions of a Sigmoidal function // *Mathematics of Control Signals and Systems*. — 1989. — T. 2, № 4. — С. 303–314.
8. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. Издательство «Наука», 1977.
9. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галёркина. Издательство «Мир», Москва, 1988.
10. Effati Sohrab & Buzhabadi, Reza. (2012). A neural network approach for solving Fredholm integral equations of the second kind // *Neural Comput & Applic*. 21. 1–10. 10.1007/s00521-010-0489-y.
11. Pouyan Nasiri, Roozbeh Dargazany. 2022. «Reduced-PINN: An Integration-Based Physics-Informed Neural Networks for Stiff ODEs». arXiv:2208. 12045.ibitem
12. Cuomo S., Di Cola V.S., Giampaolo F. et al. Scientific Machine Learning Through Physics–Informed Neural Networks: Where we are and What's Next. *J Sci Comput* 92, 88 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10915-022-01939-z>.
13. Wang F., Zhai Z., Zhao Z. et al. Physics-informed neural network for lithium-ion battery degradation stable modeling and prognosis. *Nat Commun* 15, 4332 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48779-z>
14. Liu Ziming, Yixuan Wang, Sachin Vaidya, Fabian Ruehle, James Halverson, Marin Soljaniж, Thomas Y.Hou, and Max Tegmark. «Kan: Kolmogorov-arnold networks.» arXiv preprint arXiv:2404.19756 (2024).

© Ахметов Ильшат Зуфарович (ilshat.achmetov@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ЗАЩИЩЁННОСТИ ИНФОРМАЦИИ В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ЕГО ОЦЕНКИ

Булыгин Иван Максимович

Аспирант, АОЧУ ВО «Московский финансово-
юридический университет (МФЮА)»
ftivanbulugin@gmail.com

MANAGEMENT OF THE STATE OF INFORMATION SECURITY IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS BASED ON ITS ASSESSMENT

I. Bulygin

Summary. This article covers the issues of assessing the level of information security for infrastructure and elements of information educational environments in higher educational institutions. The objectives of this article are: 1) justify the importance of conducting an assessment; 2) describe the main security violators in higher education institutions, dividing them according to the degree of interest in committing malicious acts, based on primary motives and authority; 3) highlight the key areas to be assessed; 4) describe approaches to determining the weighting coefficients of areas and individual measures within areas; 5) identify a basic set of threats to which institutions are exposed; 6) identify the main risks associated with violation of information security requirements and best practices for maintaining the level of infrastructure security.

As a result, the article proposes to link the assessment results with the threats and, therefore, the risks that the institution is exposed to, which will allow the organization's management to build a prioritized plan to increase the level of security.

Keywords: information educational environment, information security, intruder model, threats to information security, information security risks, assessment of the state of security, level of security.

Аннотация. Настоящая статья освещает вопросы оценивания уровня защищённости информации для инфраструктуры и элементов информационных образовательных сред в высших учебных заведениях. Целями данной статьи ставится: 1) обосновать важность проведения оценки; 2) описать основных нарушителей безопасности в высших учебных заведениях, разделив их по степени заинтересованности в совершении злонамеренных действий, основываясь на первостепенных мотивах и наличии полномочий; 3) выделить ключевые, подлежащие оценке направления; 4) описать подходы к определению весовых коэффициентов направлений и отдельных мер внутри направлений; 5) выделить базовый набор угроз, которым подвержены институты; 6) определить основные риски, связанные с нарушением требований информационной безопасности и лучших практик по поддержанию уровня защищённости инфраструктуры.

Как итог, в статье предлагается связать результаты оценки с угрозами и, как следствие, рисками, которым подвергается учреждение, что позволит руководству организации строить приоритезированный план по повышению уровня защищённости.

Ключевые слова: информационная образовательная среда, информационная безопасность, модель нарушителя, угрозы информационной безопасности, риски информационной безопасности, оценка состояния защищённости, уровень защищённости.

Введение

В условиях осложнения геополитической обстановки, усиления информационной войны, участвующих попыток кибератак на информационные ресурсы коммерческих и государственных организаций Российской Федерации дополнительную актуальность приобретают вопросы обеспечения защиты информации и противодействия киберпреступникам, а также несанкционированному распространению чувствительной с точки зрения конкретной организации информации, к внедрению в информационный контур сведений, нацеленных на пропаганду и популяризацию экстремистской идеологии.

Согласно публикации [1] государственные и коммерческие организации, а в частности и высшие учебные заведения, столкнулись с многократным ростом злонамеренного воздействия, начиная с 2022 года. В первую очередь в источнике описываются внешние воздей-

ствия, направленные на отказ в обслуживании сервисов институтов, доступных через сеть Интернет. При этом внешние атаки на учебные заведения реализуются и с другими целями, например, — кража персональных данных обучающихся и сотрудников [2]. В дополнение к внешним воздействиям повышаются и внутренние угрозы информационной безопасности высших учебных заведений. Это связано с общим повышением навыков и знаний студентов, обучающихся по направлениям информационных технологий и компьютерной безопасности с использованием прогрессивных подходов [3], а также самостоятельно интересующихся вопросами воздействия на защищённость информационной среды, стремлением студентов отработать практические навыки в контуре образовательного учреждения и тем самым получить выгоду в процессе аттестации или нанести вред инфраструктуре (киберхулиганство).

Для принятия осознанных управленческих решений по повышению уровня защищённости руководству выс-

ших учебных заведений требуется информация о релевантных для организаций данного типа потенциальных угрозах информационной безопасности, об источниках таких угроз, о факторах, от которых зависит их реализация, о технических и организационных аспектах текущего состояния защищённости, вероятных последствиях. А для приоритизации принимаемых решений источники угроз должны быть ранжированы по степени опасности, а направления и меры по обеспечению информационной безопасности — по степени важности и с учётом рисков, которые несет организация в случае их нереализации.

Методы

В начале работы для дополнительного обоснования актуальности исследуемой темы управления уровнем защиты информации в высших учебных заведениях была проанализирована нормативно-правовая база, регламентирующая вопросы защиты информации в организациях, осуществляющих деятельность на территории Российской Федерации.

В условиях наличия в информационных хранилищах образовательных организаций персональных данных обучающихся, их родственников, а также профессорско-преподавательского состава и иных работников организации, данные организации попадают под требования ФЗ «О персональных данных».

Помимо этого, согласно ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации», к субъектам критической инфраструктуры Российской Федерации относятся государственные органы, государственные учреждения, российские юридические лица и (или) индивидуальные предприниматели, которым на праве собственности, аренды или на ином законном основании принадлежат информационные системы, информационно-телекоммуникационные сети, автоматизированные системы управления, функционирующие в сфере науки. Это определение применимо и к образовательным организациям, на базе которых осуществляется научная деятельность.

Было принято во внимание, что в рабочих группах по внесению изменений в законодательство о критической информационной инфраструктуре (КИИ) обсуждаются планы по добавлению всех образовательных организаций в контур КИИ.

Первоначальным этапом для определения угроз и вероятных векторов атак для реализации таких угроз, является построение модели нарушителя, характерной для организаций рассматриваемого типа [4].

Для построения собственной модели были проанализированы результаты работ, содержащие исследова-

ния и разработки моделей нарушителя для университетов [5], определены критерии, влияющие на степень опасности нарушителей, а также привлечены работники из числа профессорско-преподавательского состава института для экспертных оценок.

На основе практического опыта автора по проведению аудитов информационной безопасности в организациях различных сфер деятельности, а также с учётом работ, рассматривающих основные стандарты построения и оценки систем обеспечения информационной безопасности в организациях [6], был сформирован перечень направлений для оценивания уровня защищённости организаций и предложен перечень конкретных мер, входящих в одно из описанных направлений.

В каждое из верхнеуровневых направлений перед началом проведения оценивания должен входить набор конкретных организационных и технических мер, подлежащих оцениванию внутри данных направлений. Для каждого направления и меры внутри направления целесообразно определить весовые коэффициенты важности, определяемые с учётом специфики сценариев атак в образовательных организациях, опасности нарушителей, особенностей построения системы обеспечения информационной безопасности (СОИБ) в оцениваемой организации.

В работе [7] отмечается, что для описания понятий, имеющих многозначные или неточные оценки, применимы алгоритмы нечетких множеств, формируемых на основе экспертных знаний. Исключительно экспертных знаний может быть недостаточно в связи с отсутствием у отдельно взятых экспертов всеобъемлющих знаний об оцениваемой системе обеспечения информационной безопасности. В связи с этим целесообразно построение самонастраивающихся моделей оценки весовых коэффициентов значимости оцениваемых направлений и мер, а также рисков в СОИБ, основываясь на объективных данных о системе, к которым относятся результаты измерений входов и выходов системы. Источниками объективных входных данных могут выступать отчёты различных средств защиты, использующиеся в контуре оцениваемой организации, например таких, как сканеры уязвимостей, сканеры конфигураций параметров по информационной безопасности для используемых в периметре технологических платформ, антивирусные средства защиты, системы учёта инцидентов и другие классы средств [8, 9].

В публикации [10] отмечается, что способностью извлечения знаний из пар входных и выходных данных и аппроксимации исходных зависимостей обладают нейронные сети.

При оценке важности параметров по информационной безопасности в высших учебных заведениях, а также

последующей оценке рисков целесообразно, как один из перспективных, использовать совмещенный подход перевода нечётких множеств в нейро-нечеткую сеть, ее настройку и использование для получения объективных механизмов повышения уровня защищённости.

Результаты

В таблице 1 представлена информация о возможных нарушителях информационной безопасности информационных образовательных сред (ИОС) высших учебных заведений и оценка опасности нарушителя, основанная на степени интереса к совершению злонамеренных действий и наличия специализированных навыков у потенциальных категорий нарушителей, где 3 — высокая опасность, 2 — средняя опасность, 1 — низкая опасность.

Таблица 1.

Модель нарушителей в ИОС ВУЗа

Нарушитель	Опасность	Пояснение к выбранной оценке
Преподавательский состав	1	Обычно не заинтересованы в совершении деструктивных действий. Редко имеют набор необходимых навыков для совершения деструктивных действий
Обучающиеся	3	Заинтересованы в искажении информации в автоматизированных системах организации с целью ложного прохождения аттестации, хулиганства.
Администраторы	2	Чаще не заинтересованы в совершении деструктивных действий, но в силу повышенных привилегий более склонны, чем другие работники организации
Иные работники	1	Обычно не заинтересованы в совершении деструктивных действий. Редко имеют набор необходимых навыков для совершения деструктивных действий
Внешние пользователи (хакеры)	3	Заинтересованы в краже персональных данных, нанесении финансового и репутационного ущерба, распространении пропаганды. Имеют требуемую для совершения деструктивных действий подготовку.
Провайдеры, и поставщики	1	Могут быть заинтересованы в совершении деструктивных действий, но несут собственные репутационные риски, поэтому имеют низкую опасность

С целью описания основных аспектов, требующих внимания при оценке уровня защищённости, в настоящей статье в таблице 2 представлен набор направлений мер, применимых и влияющих на состояние защищённости образовательной организации от возможных нарушителей, описанных ранее.

Таблица 2.

Верхнеуровневые направления оценки (I уровень)

№	Название направления
1	Система менеджмента информационной безопасности университета
2	Управление доступом персонала и обучающихся
3	Физическая безопасность образовательных объектов
4	Обеспечение ИБ на стадиях жизненного цикла систем и прикладного программного обеспечения
5	Обеспечение сетевой безопасности инфраструктуры
6	Управление уязвимостями
7	Обеспечение безопасности автоматизированных рабочих мест обучающихся и эксплуатационного персонала
8	Обеспечение безопасности серверов
9	Обеспечение антивирусной защиты
10	Предотвращение утечек защищаемой информации
11	Криптографическая защита информации
12	Управление событиями ИБ
13	Управление инцидентами ИБ
14	Защита среды виртуализации
15	Взаимодействие с третьими лицами (включая обеспечение ИБ при использовании внешних сервисов)
16	Обеспечение ИБ персональных данных обучающихся и работников
17	Обеспечение непрерывности функционирования прикладного обеспечения и сервисов
18	Осведомленность в вопросах обеспечения ИБ преподавателей и обучающихся
19	Работа с конфиденциальной информацией — исследования, научные работы, интеллектуальная собственность, бухгалтерская отчётность и финансовая информация

В таблице 3 приведены меры второго уровня, предлагаемые для оценки в рамках раздела «Обеспечение безопасности автоматизированных рабочих мест (АРМ) обучающихся и эксплуатационного персонала». Данный раздел был выбран, поскольку в нем затрагиваются вопросы безопасности устройств, непосредственно доступных для нарушителей с высокой и средней оценкой безопасности (обучающиеся — 3, эксплуатационный персонал — 2).

Определен и представлен наиболее распространенный перечень мер внутри направлений, который может быть дополнен и изменен с учётом специфики построения инфраструктуры высшего учебного заведения. Основная цель при этом — непротиворечивость, отсутствие дублирования мер в смежных тематических направлениях для получения объективной совокупной картины.

Таблица 3.
Меры для направления оценки (II уровень)

№	I уровень	II уровень
1	Обеспечение безопасности автоматизированных рабочих (АРМ) мест обучающихся и эксплуатационного персонала	Использование централизованного управления учётными записями обучающихся
2		Аутентификация на АРМ только под персонализированными доменными учетными записями с запретом использования стандартных учётных записей («Гость», «Администратор»)
3		Запрет использования на АРМ обучающихся учётных записей с правами локального администратора
4		Ограничение прав обучающихся на доступ к системным файлам АРМ
5		Запрет на внесение изменений обучающимися в конфигурации прикладного и системного прикладного обеспечения
6		Обеспечение парольной защиты BIOS
7		Использование актуальных поддерживаемых версии операционных систем
8		Установлены обновления и патчи, закрывающие известные CVE (Common Vulnerabilities and Exposures)
9		На АРМ отсутствуют уязвимости системного и прикладного программного обеспечения выше 4.0 по шкале CVSS (Common Vulnerability Scoring System)
10		Запрет загрузки операционной системы с внешних носителей
11		Опломбирование АРМ для обеспечения целостности аппаратной части
12		Запрет подключения к АРМ съемных устройств

Выполнение каждой меры j каждого верхнеуровневого направления i можно оценить по следующей шкале

$$E_{i,j} = \begin{cases} 0 & \text{— мера полностью не выполнена} \\ 0,5 & \text{— мера выполнена частично} \\ 1 & \text{— мера выполнена в полном объеме.} \end{cases} \quad (1)$$

Для обеспечения гибкости оценки руководством организации может быть сформировано несколько уровней защищённости от более низкого к более высокому, характеризующиеся обязательностью выполнения тех или иных мер для достижения соответствующего уровня

$$a_{1,i,j} = \begin{cases} 0, & \text{неприменима к уровню защиты 1} \\ 1, & \text{применима к уровню защиты 1.} \end{cases} \quad (2)$$

Вычисление средней оценки для направления на основе конкретных оценок мер с учетом весовых коэффици-

циентов даст количественную оценку состояния защищённости ресурсов информационной образовательной среды по определенному направлению на отрезке от 0 до 1

$$E_i = \frac{\sum_{j=1}^{M_i} E_{i,j} \cdot a_{1,i,j} \cdot t_{i,j}}{\sum_{j=1}^{M_i} a_{1,i,j} \cdot t_{i,j}}, \quad (3)$$

где M_i — общее количество мер защиты информации по направлению i ;

l — выбранный уровень защиты организации.

Весовой коэффициент $t_{i,j}$ определяет значительность результата оценки меры при подсчете итогового количественного значения оценки направления E_i .

В зависимости от стратегии управления руководителем он сможет оценить для себя и качественное состояние информационной безопасности, проинтерпретировав полученные количественные оценки по направлениям.

С участием экспертов по информационной безопасности и консультантов по учебным и ИТ-процессам в институте, а также с учётом сформированного набора направлений оценки, был разработан перечень релевантных для университетов угроз:

- угроза внедрения вредоносного кода;
- угроза распространения вредоносного кода;
- угроза искажения защищаемых данных: персональных, финансовых данных, результатов авторских научных исследований;
- угроза кражи защищаемых данных;
- угроза удаления защищаемых данных;
- угроза блокировки защищаемых и общедоступных данных, функционала систем;
- угроза искажения общедоступных данных: данных об аттестации студентов, иных данных, определяющих учебный процесс;
- угроза отсутствию обеспечения защитных мер при проектировании и разработке систем;
- угроза внесения изменения в целостность программного обеспечения, конфигурации программного обеспечения и средств защиты;
- угроза отказа работоспособности внешних сервисов;
- угроза отказа работоспособности внутренних сервисов;
- угроза несанкционированного проникновения на объекты учебного заведения;
- угроза неконтролируемых почтовых рассылок от имени студентов и работников организации;
- угроза внедрения пропагандистской информации с использованием фишинга и социальной инженерии;
- угроза неконтролируемого доступа в сеть Интернет;

— угроза нарушения требований законодательства Российской Федерации.

Автором предлагается связать реализацию каждой меры с набором угроз, на минимизацию которых направлена каждая мера

$$y_{k,i,j} = \begin{cases} 1, \text{ мера направлена на снижение угрозы } Y_k \\ 0, \text{ мера не направлена на снижение угрозы } Y_k \end{cases}, (4)$$

где k — номер типовой угрозы;

i — порядковый номер направления оценки;

j — порядковый номер меры внутри направления.

Тогда каждой оцениваемой мере защиты информации $E_{i,j}$ соответствует связанной с ней вектор $\{Y_{1,i,j}, Y_{2,i,j}, Y_{3,i,j}, \dots, Y_{N,i,j}\}$.

Такой подход позволит определить показатель, находящийся в диапазоне от 0 до 1 и показывающий степень реализации мер по отношению к рассматриваемым типовым угрозам (нежелательным событиям) — чем больше мер не реализовано, тем выше данный показатель

$$Y_g = \frac{\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{M_i} y_{g,i,j} \cdot (1 - E_{i,j}) \cdot a_{i,i,j}}{\sum_{i=1}^{19} \sum_{j=1}^{M_i} y_{g,i,j} \cdot a_{i,i,j}}, (5)$$

где M_i — общее количество мер защиты информации по направлению i ;

I — выбранный уровень защиты организации, а для каждой меры посчитать обобщенный показатель связанных угроз суммированием по всем угрозам

$$X_{i,j} = \sum_{g=1}^N y_{g,i,j}, (6)$$

где N — общее количество рассматриваемых угроз безопасности.

Наличие таких показателей позволит руководству приоритезировать работы по реализации мер, начиная

с тех, которые максимально воздействуют на большее количество угроз.

В завершении на основе приведенного перечня угроз информационной безопасности в высшем учебном заведении были определены и представлены основные риски, которым подвержена организация и ее руководство:

1. Нарушение работоспособности основных сервисов вуза, то есть вынужденная приостановка реализации основных функций организации;
2. Снижение качества выполняемых высшим учебным заведением функций;
3. Коммерческие потери, например, связанные с дополнительными расходами на восстановление функционирования сервисов;
4. Репутационные риски, связанные с попаданием в открытый доступ информации об инцидентах информационной безопасности или сведений ограниченного распространения
5. Риски неисполнения требований регуляторов, результатом чего может стать наложение штрафных санкций и даже временная приостановка права на осуществление деятельности.

Заключение

Проблема обеспечения защиты информации в образовательных учреждениях является актуальной и вызывает вопросы, как у менеджмента организаций, так и у регуляторов Российской Федерации.

В связи с разнообразием используемых технологий и предоставляемых сервисов, попытками нарушить защищенность, как снаружи, так и изнутри, повышением навыков потенциальных нарушителей, организации подвержены разнообразным угрозам информационной безопасности, а процесс оценивания разбивается на большое количество направлений. При этом вклад каждой меры необходимо оценить, избежав субъективности и фрагментарности, используя объективные данные и технологию их анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов А.А., Ермаков А.А. Особенности российского рынка информационной безопасности в современных экономических условиях // Московский экономический журнал. — 2023. №3.
2. Romashkova O.N., Romashkova E.D. International Training Programs IT Security System for Specialists in Onboard Systems // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications, Conference Proceedings, 2021, 9416134.
3. Ponomareva L.A., Chiskidov S.V., Romashkova O.N. Instrumental implementation of the educational process model to improve the rating of the universities // В сборнике: CEUR Workshop Proceedings. 9. Сер. «Selected Papers of the Proceedings of the 9th International Conference Information and Telecommunication Technologies and Mathematical Modeling of High-Tech Systems, ITMM 2019» 2019. С. 92–101.
4. Корниенко С.В., Пантюхина А.В. Методика выявления потенциальных внутренних нарушителей информационной безопасности // Интеллектуальные технологии на транспорте. — 2023. №2 (34). С. 50–55.
5. Ромашкова О.Н., Каптерев А.И. Анализ угроз и рисков информационной безопасности в вузе // Вестник МГПУ. — 2023. №1(63). С. 37–47.
6. Kapterev A.I., Romashkova O.N. Challengers for Russian Ecosystem of Higher Education for on Board Communications // В сборнике: 2019 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on-Board Communications, SOSG 2019. 2019. С. 8706719.

7. Андリュшкова О.В., Григорьев С.Г. Расчет негэнтропии и весовых коэффициентов многокритериальных оценок на основе нечетких множеств // Информатика и образование. — 2019. № 1. С. 40–49.
8. Бойправ В.А., Утин Л.Л. Методика и программное средство для проведения аудита систем менеджмента информационной безопасности // Информатика. — 2022. №19(4). С. 42–52.
9. Крутофал Г.Е. О необходимости применения сканеров уязвимостей для обеспечения информационной безопасности // Евразийский научный журнал. — 2022. №. 4. С. 41–44.
10. Сагалаева А.И., Ромашкова О.Н., Рудниченко Н.Д. Нечеткая модель для оценки эффективности распределения информационных ресурсов учебного центра // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2021. № 10. С. 116–123.

© Булыгин Иван Максимович (ftivanbulygina@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВОПРОСЫ ДОСТОВЕРНОГО ФИЗИЧЕСКОГО И ВИЗУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ ТРАКТОРА БЕЛАРУС-3525

ISSUES OF RELIABLE PHYSICAL AND VISUAL MODELING OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS OF UNMANNED AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON THE TRACTOR BELARUS-3525

I. Galilulin
B. Timershin

Summary. This paper is dedicated to the study of principles and possibilities for accurate physical and visual modeling of complex technical systems using modern software tools. It addresses the issues of modeling and emulating the operation of unmanned agricultural transport vehicles based on the Belarus-3525 tractor. The work covers methods for integrating these systems with the environment, which improves the development process and reduces operational risks.

Keywords: unmanned tractor, modeling, virtual simulation, Gazebo, modeling of complex technical systems, physics emulation, accurate physical modeling.

Галиуллин Искандер Гаязович

директор кадрово-ресурсного центра ИТ,
Казанский федеральный университет
isgaliullin@gmail.com

Тимершин Булат Айратович

аспирант, Институт вычислительной математики
и информационных технологий;
техник-программист, Научно-исследовательский
центр «Центр превосходства»
btimershin99@xmail.com

Аннотация. Эта статья посвящена исследованию способов и перспектив детализированного физического и графического моделирования комплексных инженерных систем с помощью современных программных инструментов. Особое внимание уделяется вопросам симуляции и имитации работы автономных сельскохозяйственных машин на основе трактора Беларус-3525. Работа охватывает методы интеграции этих систем с окружающей средой, что позволяет улучшить процесс разработки и снизить риски при эксплуатации.

Ключевые слова: беспилотный трактор, моделирование, виртуальная симуляция, Gazebo, достоверное физическое моделирование.

Введение

Современные системы требуют высокой точности в разработке и эксплуатации, что обусловлено их сложной структурой и необходимостью взаимодействия с физической средой [1]. Высокие требования к рентабельности разработки и производства таких систем подчеркивают важность минимизации потерь, возникающих из-за поломок и неудачных испытаний. В данном контексте виртуальное моделирование становится неотъемлемым инструментом для предварительной проверки и оптимизации работы технических систем.

Анализ существующих программных продуктов показывает, что при правильном применении они могут служить эффективными инструментами для точного физического моделирования сложных систем. В этой работе предлагается методология, направленная на создание комплекса программных средств, способного минимизировать риски некорректной разработки и повысить ее эффективность, а также оценить надежность системы.

Цель этого исследования — создать и внедрить новые алгоритмы и методы, которые позволят проводить точное физическое моделирование и испытания комплексных инженерных систем.

Для достижения этой цели авторы поставили перед собой следующие задачи:

1. Исследовать и оценить текущие программные инструменты для моделирования, включая доступные программы, плагины и библиотеки;
2. Гарантировать точность симулируемых физических явлений;
3. Разработать алгоритм, который позволит осуществлять точное физическое моделирование сложных инженерных систем;
4. Построение многофункциональной виртуальной платформы на основе разработанного алгоритма, предназначенной для моделирования и тестирования сложных технических систем.

Основные результаты

Сравнительный анализ существующих программных средств показывает, что большинство из них решают уз-

Таблица 1.

Сравнение различных программных средств

Наименование	Язык	Операционная система, тип	Графическая визуализация	Физическое моделирование	Решения по кинематике	Примечание
MRPT	C++	Linux, Windows, среда разработки	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Применяется для алгоритмов SLAM и планирования движения.
MARIE	C++	Linux, среда разработки	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Позволяет интегрировать различные робототехнические инструменты
Player Project (former Player/Stage)	C++	Linux, среда разработки	Трёхмерная, с Gazebo	Присутствует, с Gazebo	Отсутствует	Поддерживает работу с конкретными моделями роботов. Интегрируется с другими инструментами.
YARP	C++	Windows, Linux, набор утилит	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Инструменты для различных задач в робототехнике.
UsarSim	C++	Linux, Windows, среда разработки	Трёхмерная	Присутствует	Отсутствует	Хорошо подходит для визуализации и физического моделирования колесных платформ.
JDE+	C	Linux, среда разработки	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Платформа для принятия роботами решений в условиях повышенной сложности
ORCA	C++	Linux, редактор	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Используется для создания моделей поведения роботов.
RoboFrame	C++	Windows, Linux, редактор	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Применяется для моделирования поведения робототехнических систем.
CARMEN	C Java	Linux, среда разработки	Двухмерная	Отсутствует	Отсутствует	Применяется для алгоритмов SLAM и планирования движения.
CLARAty	C++	Windows, Linux, редактор и среда разработки	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	Разработан для проектирования космических и специализированных роботов.
Gazebo	C++, Python	Windows, Linux, редактор и среда разработки	Трёхмерная	Присутствует	Присутствует	Используется для симуляции и тестирования робототехнических платформ.

коспециализированные задачи, такие как навигация или когнитивное принятие решений, но не обеспечивают реалистичную физику. Таблица 1 представляет сравнительный обзор программного обеспечения, включая такие параметры, как язык программирования, платформа, поддержка 3D-симуляции и физического моделирования.

В результате тщательного изучения различного инструментария для моделирования инженерных систем было принято решение использовать фреймворк Gazebo (см. Рисунок 1).

Gazebo является высокоэффективным инструментом для достоверного моделирования, который обеспечивает точную настройку алгоритмов робототехнических систем и проведение надежного тестирования в разнообразных симулированных сценариях [2]. Кроме этого, фреймворк обладает качественной графикой и удобными инструментами для программирования и визуализации, а также позволяет создавать и анализировать различные модели. С помощью использования различных

физических модулей платформа способна обеспечить точную физическую симуляцию.

Фреймворк Gazebo поддерживает использование различных плагинов, которые расширяют функциональность симулятора. Эти плагины позволяют проводить операции с объектами и их компонентами, обеспечивая реалистичное моделирование процессов.

Gazebo способен обеспечивать функционал нескольких физических модулей: Dynamic Animation and Robotics Toolkit (DART), Open Dynamics Engine (ODE), Bullet Physics Library (Bullet), SimBody, [3-6]. Основные характеристики каждого из этих модулей указаны на рисунке 2.

По результатам анализа физических модулей, проведенного авторами, было определено, что движок DART обеспечивает наиболее точную физическую эмуляцию процессов, присущих симуляции трактора. Среди таких процессов: «движение трактора по пересеченной местности», «работа подвески и амортизаторов», «взаимодействие с грунтом», «повороты и маневры», «влияние

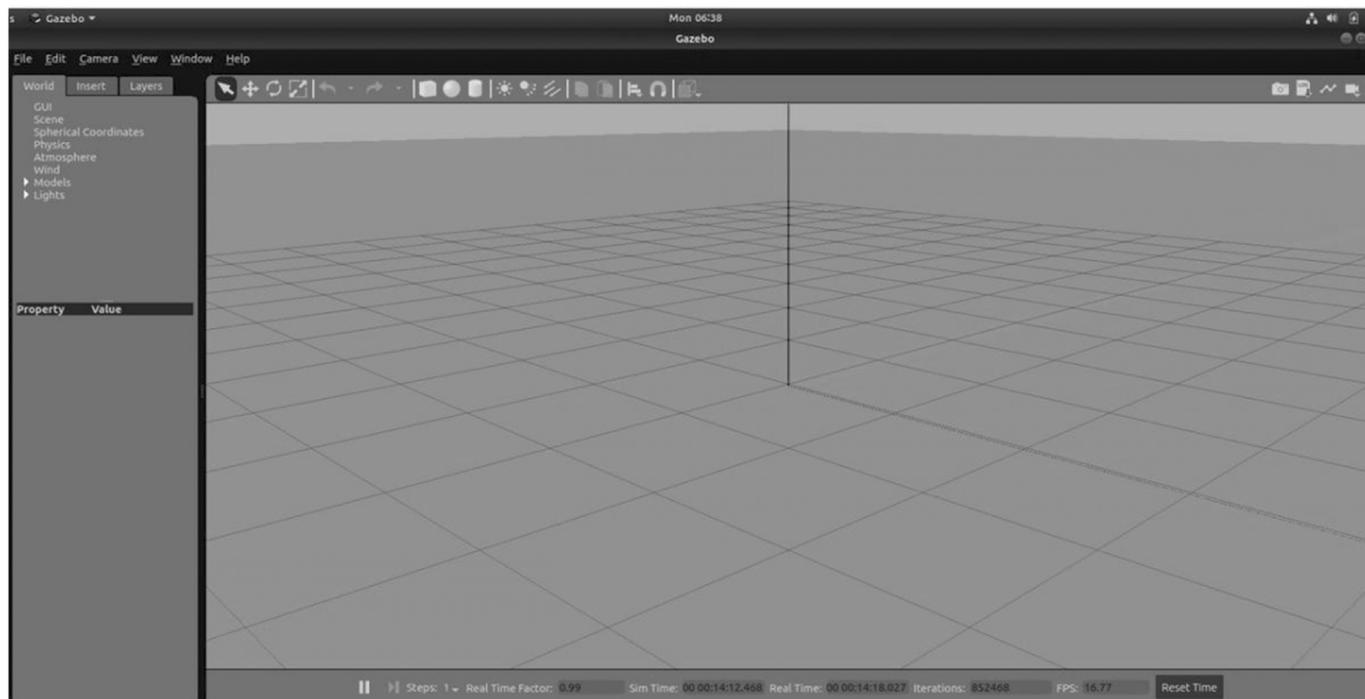


Рис. 1. Внешний вид фреймворка Gazebo

Свойства	ODE	Simbody	Bullet	DART
Соединение	Жесткое / Импульсное	Жесткое / Форсированное с переменным шагом	Жесткое / Импульсное	Жесткое / Импульсное
Амортизация джойнтов	Явная или неявная	Неявная	Явная	Неявная
Координаты	Максимизированные	Обобщенные	Максимизированные	Обобщенные

Рис. 2. Характеристики физических модулей

различных типов почвы на сцепление», и «взаимодействие навесного оборудования с землей» [7].

В результате проведенного анализа был сформулирован алгоритм для точного физического моделирования сложных технических систем на персональном компьютере:

1. Выбор платформы Gazebo версии 9 и выше в качестве среды моделирования.
2. Интеграция с модулем DART.
3. Создание графической модели трактора в редакторе.
4. Формирование конфигурации модели трактора с указанием всех физических параметров и материалов.
5. Установить все связи между визуальной и физической моделями с помощью конфигурационного файла.

6. Разработка плагина для реализации поведения модели трактора.
7. Формирование файла «world», в котором указываются подключаемые плагины и загружаемые объекты.
8. Запустить симуляцию с использованием созданного из предыдущего пункта файла «world».

Применение данного алгоритма позволяет наблюдать и анализировать поведение сложных технических систем, таких как тракторы, в различных условиях эксплуатации.

Этот программный комплекс для точного физического моделирования был использован при разработке беспилотного сельскохозяйственного транспортного средства (БТС). В результате были созданы точные физические модели интерактивных объектов для симулятора



Рис. 3. Полигон испытаний сложных технических систем

Gazebo и виртуальная испытательная площадка для последующего моделирования и тестирования 3D-модели БСТС, что существенно сократило затраты на разработку реального БСТС.

Общая модель полигона приведена на рисунке 3.

Интерактивные объекты подразделяются на 3 категории: статические объекты (стог сена, столбы, кустарники, деревья и др.), динамические (люди, скот, дикие животные), детальная модель БСТС.

Основными результатами являются математические и алгоритмические модели и методы перемещения реальной БСТС [8-10]. Результаты были достигнуты с помощью проведения испытаний БСТС на виртуальном полигоне с виртуальной моделью БСТС.

Выводы

Исследование принципов точного физического и визуального моделирования сложных технических систем

с использованием современных программных средств подчеркивает значимость разработки методологии достоверного моделирования. Разработанная методология позволяет эффективно интегрировать и испытывать различные робототехнические платформы и технические системы без риска повреждения реальных объектов. Это существенно ускоряет процесс разработки новых технологий, сокращает финансовые затраты и время. Такой подход способствует прогрессу в области робототехники и создает основу для создания эффективных и устойчивых решений в различных отраслях промышленности, включая сельское хозяйство.

Благодарность: Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

ЛИТЕРАТУРА

1. Egorchev A., Chickrin D. Methodology and model of unmanned vehicles virtual simulation. // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems. 2020. Vol. 12. Iss. 6. 1316 pp. doi: 10.5373/JARDCS/V12I2/S20201324.
2. Gazebo Simulator [сайт]. Режим доступа: <http://gazebosim.org/>, свободный (дата обращения: 15.06.2024).
3. Физический движок DART [сайт]. Режим доступа: <https://github.com/dartsim/dart/>, свободный (дата обращения 15.06.2024).
4. Физический движок ODE [сайт]. Режим доступа: <https://ode.org/>, свободный (дата обращения 15.06.2024).
5. Физический движок Bullet [сайт]. Режим доступа: <https://code.google.com/archive/p/bullet/>, свободный (дата обращения 15.06.2024).
6. Физический движок Simbody [сайт]. Режим доступа: <https://simtk.org/projects/simbody/>, свободный (дата обращения 15.06.2024).
7. Математическая модель робота-автомобиля в симуляторе Gazebo / Е.В. Корягин, О.В. Толстель, Д.Н. Хуторной, А.Г. Челядинский // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. — 2016. — № 1. — С. 5287579. — EDN VWPEEN.
8. Autonomous localized path planning algorithm for UAVs based on TD3 strategy / Zh. Feiyu, Li. Dayan, W. Zhengxu [et al.] // Scientific Reports. — 2024. — Vol. 14, No. 1. — P. 763. — DOI 10.1038/s41598-024-51349-4. — EDN DMELOW.
9. Multi-robot coalition formation for precision agriculture scenario based on gazebo simulator / N. Teslya, A. Smirnov, A. Ionov, A. Kudrov // Smart Innovation, Systems and Technologies. — 2021. — Vol. 187. — P. 329–341. — DOI 10.1007/978-981-15-5580-0_27. — EDN RDIADH.
10. Simulation Components in Gazebo / I. Peake, J.La Delfa, R. Bejarano, J.O. Blech // Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Technology: 22, Valencia, 10–12 марта 2021 года. — Valencia, 2021. — P. 1169–1175. — DOI 10.1109/ICIT46573.2021.9453594. — EDN DJJZSN.

© Галиуллин Искандер Гаязович (isgaliullin@gmail.com); Тимершин Булат Айратович (btimershin99@mail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИК РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ И ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В ОБЛАСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

UTILIZING REPRESENTATION LEARNING TECHNIQUES FOR SOLVING APPLIED AND INDUSTRIAL PROBLEMS IN COMPUTER VISION

**A. Gurov
E. Kamilov**

Summary. The paper investigates methods for solving applied and industrial problems in the field of computer vision, with a particular focus on granulometry. Despite advancements in machine learning, such tasks lack effective solutions due to limited annotated data. The paper reviews existing approaches, emphasizing representation learning methods, including those from related fields. The findings highlight the potential and limitations of current approaches, indicating the need for further research to effectively address such challenges.

Keywords: computer vision, segmentation, representation learning, foundational models.

Гуров Андрей Владимирович

Аспирант, Федеральное государственное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский
национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики»
avgurov@itmo.ru

Камилов Эркин Махмуджанович

Аспирант, Федеральное государственное учреждение
высшего образования «Санкт-Петербургский
национальный исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики»
etkamilov@itmo.ru

Аннотация. В статье исследуются методы решения прикладных и промышленных задач в области компьютерного зрения, гранулометрии в частности. Несмотря на достижения машинного обучения, подобные задачи не имеют эффективного решения из-за ограниченности аннотированных данных. В статье рассматриваются существующие подходы с акцентом на методы репрезентативного обучения, в том числе из смежных областей. Выводы подчеркивают потенциал и ограничения текущих подходов, указывая на необходимость дальнейших исследований для эффективного решения подобных задач.

Ключевые слова: компьютерное зрение, сегментация, репрезентативное обучение, фундаментальные модели.

Введение

Методы машинного обучения продемонстрировали многообещающие результаты в прикладных и промышленных задачах компьютерного зрения, таких как верификация лиц, управление беспилотными автомобилями, выявление заболеваний на рентгеновских снимках и детекция дефектов на производстве. Однако многие промышленные задачи, как сегментация мелких, повторяющихся зернистых объектов остается сложной задачей из-за ограниченности аннотированных данных. Это приводит к дефициту эффективных решений для таких задач, как оптическая гранулометрия. Исследователи используют различные методы, включая передобучение существующих моделей и адаптацию больших моделей через оптимизацию промптов.

В данной работе рассматриваются методы, основанные на техниках репрезентативного обучения, демонстрирующие отличные результаты в задачах few-shot и zero-shot learning, с акцентом на сегментацию объектов зернистой природы, но не ограничивается ими.

Цель данной работы — определить достоинства и недостатки существующих на сегодняшний день решений в рассматриваемой области, а также выявить направления будущих исследований, направленных на улучшение этих методов.

Для достижения этой цели, ставятся следующие задачи:

- Обзор существующих решений промышленных задач на примере задачи сегментации объектов зернистой природы/гранулометрии, их достоинств и недостатков;
- Исследование методов и подходов, основанных на адаптации больших моделей к новым задачам и данным;
- Исследование методов, использующих техники адаптации, для решения задач сегментации данных специфического домена, оценка их результатов и перспектив использования.

Обзор существующих решений

Для начала стоит определить, какие объекты мы имеем в виду, говоря о зернистой структуре. В данном раз-

деле к объектам с зернистой структурой относятся следующие материалы:

- Материалы, имеющие зерно в качестве фундаментальной иерархической единицей организации (например, некоторые металлы) [1, 2, 3];
- Сыпучие материалы гранулированной формы (зерно, камни) [4];
- Другие материалы и вещества, состоящие из почти однородных по форме, размеру и цвету плотно расположенных друг к другу объектов (пузыри пены, листва на дереве и т. д.) [5, 6].

Чаще всего такие структурные особенности материалов встречаются в горнодобывающей промышленности, обработке металлов, сельском хозяйстве и строительстве. Долгое время для сегментации объектов такой природы использовались классические подходы компьютерного зрения, такие как: настраивание порогового значения [7], методы на основе градиентов изображения [7], HED методы [8]. Несмотря на вычислительную эффективность и простоту использования, эти методы имели ряд серьезных недостатков: необходимость ручной настройки параметров/гиперпараметров, плохая обобщаемость и низкое качество.

Были и другие попытки адаптировать классические подходы компьютерного зрения к данной задаче. Сегментация изображений с помощью суперпикселей и по сей день остается популярным подходом, в основании которого лежит идея разделения всего изображения на отдельные однородные участки (суперпиксели/супервоксели [9, 10, 11]) с последующим слиянием с помощью распределений Гаусса [12] и NCut-методами [13], что выражается в их большой вычислительной сложности.

В большинстве своём при использовании машинного обучения при сегментации объектов зернистой структуры исследователи пользуются хорошо зарекомендовавшими себя семействами моделей, такими как: U-Net [14], YOLO [15] или Mask R-CNN [16] и их модификациями. Так, например, модификация Mask R-CNN и YOLO хорошо показала себя при сегментации пшеницы и других сельскохозяйственных культур с плотной зернистой структурой колоса [17, 18].

Другие работы были направлены на разработку новых семейств нейронных сетей, специализирующихся именно на решении поставленной задачи, а не адаптацию существующих моделей [19].

Хотя использование таких инструментов как нейронные сети и дает существенный прирост в качестве алгоритмов, оно усугубляет проблему, связанную с кропотливой и долгой разметкой данных для обучения.

Преодолеть это ограничения попытались с помощью комбинирования нейронных сетей с классическими ме-

тодами. При таком подходе нейронные сети обучаются не на размеченных вручную данных, а на синтетических данных или данных, размеченных с помощью классических подходов компьютерного зрения [20, 21, 22]. При таких подходах также значительно увеличить уже имеющуюся обучающую выборку путем обогащения ее различными сегментирующими масками, немного отличными друг от друга, пытаюсь решить таким образом проблему недостатка данных и недостатка аннотаций к данным.

Были также попытки исследовать саму природу таких данных, не используя при это разметку, выучивая репрезентативные представления. Такие методы используют подходы self-supervised learning и показывают выдающиеся результаты во многих областях машинного обучения, в том числе и в сегментации изображений [23, 24, 25, 26].

По причине недавнего успеха self-supervised подходов многие исследователи стали адаптировать их для задачи сегментации зернистых объектов. В работе [27] авторы попытались расширить существующие фреймворки репрезентативного обучения, чтобы они были способны «обращать внимание» на гранулированные и зернистые структуры, что является одной из первых попыток обобщить модели не на конкретный домен данных, а на объекты определенной природы.

Несмотря на все возможные перспективы, связанные с использованием техник репрезентативного обучения или адаптаций больших моделей, в научном сообществе пока не сформировался тренд к использованию этих методик к узкоспециализированным областям и доменам данных, как сегментация зернистых объектов.

Большие модели

В набирающей обороты тенденции к изучению больших нейросетевых моделей, способных решать широкий круг задач (большие модели), и исследованию их возможностей одним и важнейших направлений стало сближение достижений в области обработки естественного языка (NLP) и компьютерного зрения (CV).

Основополагающим вкладом в эту траекторию является разработка и дальнейшее улучшение GPT (Generative Pre-trained Transformer) моделей, в частности GPT-3, обширной языковой модели, которая имела на тот момент беспрецедентное количество параметров в 175 миллиардов [28]. GPT-3 не только демонстрировала исключительную эффективность в NLP задачах, но также и предзнаменовала парадигматический сдвиг, демонстрируя выдающиеся способности к обучению с помощью few-shot learning, показывая при этом впечатляющие результаты. Многогранный успех модели

в машинном переводе, в задачах ответа на вопросы, в оперативном рассуждении и адаптации предметной области подчеркнул потенциал для развития универсальных, общих языковых систем [28].

Одновременно с этим в сфере обработки естественного языка наметилась тенденция к поиску других методов адаптации больших моделей к новым задачам и новым данным помимо обучения с нуля и переобучения (fine-tuning). Один из таких методов вообще не требовал никаких действий с параметрами уже обученных моделей в отличие от обучения с учителем, используя при этом оптимизацию промптов (prompt), последовательностей входных слов, для прямого воздействия на поведение модели [29]. Такая схема "обучения" с помощью промптов продемонстрировала высокое качество в zero/few-shot задачах без обилия аннотированных данных. Новый подход к адаптации больших языковых моделей, воплощенный в правильной стратегии оптимизации входных промптов, не только послужил в качестве новой парадигмы в сфере NLP, но и выступил инструментом для повышения доступности в этой области. Авторы также утверждают, что такие эффективные и простые в использовании методы, как оптимизация промптов, являются катализаторами будущих научных достижений и ключом для исследования возможностей больших языковых моделей [29].

Все эти достижения и успешные практики в сфере NLP нашли применения в других областях, в том числе в компьютерном зрении. Так, например, была предложена методология по улучшению моделей на базе Vision Transformer посредством включения в её архитектуру специальных токенов памяти (memory tokens) [30]. Это токены, встроенные в каждый слой первоначальной модели, служат дополнительной контекстной информацией для конкретных наборов данных, способствуя эффективной адаптации уже обученной модели. Идея дополнительных контекстных токенов была заимствована из сферы NLP, где к тому моменту техники оптимизации входных дополнительных промптов были широко распространены. Концептуальное отличие от первоначальной идеи лишь в том, что в случае с Vision Transformer эти промпты представлены в виде обучаемых параметров (токенов памяти). В работе также были использованы и другие нововведения, такие как маскированное внимание (masked attention), упрощающие адаптацию модели для последующих новых задач и новых данных. Пример использования подобных техник в задачах компьютерного зрения представляет убедительный аргумент в пользу эффективности стратегий обобщения больших моделей для новых задач и новых данных в данной сфере, закладывая основу для будущих научных исследований.

Другой попыткой адаптировать уже обученные модели к новым данным была работа, направленная, в отли-

чий от предыдущей, на изучения одного универсального токена, не зависящего от входных данных, который при применении к уже обученной модели, такой как CLP [31], обеспечит эффективное выполнения новых задач [32]. В статье также исследуется неожиданная эффективность такого подхода по сравнению со многими другими решениями, а также устойчивость к сдвигу распределений входных данных. Эта работа только укрепила позиции новой парадигмы в методах адаптации моделей глубокого обучения к новым данным/задачам и побудила к дальнейшим исследованиям в данном направлении, направленных на понимание условий и контекстов, при которых визуальные промпты оказывают влияние на способность моделей компьютерного зрения к обобщению.

Другим подтверждением того, что новые методы адаптации на основе визуальных промптов зачастую показывают лучший результат по сравнению с fine-tuning методами является метод настройки визуальных промптов (visual prompts tuning), предложенный в [32]. Но, в отличие от предыдущей работы, в нем оптимизируется не только входной промпт для определенной задачи, но и дополнительный легковесный слой адаптации. Остальные веса уже обученной модели остаются замороженными.

Все эти примеры моделей и подходов, рассмотренных в данном разделе, демонстрируют нам перспективу использования больших моделей в совокупности с методами эффективной адаптации в качестве потенциальных решений узконаправленных задач на специфичных доменах данных. За счет большого количества параметров и предобучения в self-supervised манере большие модели имеют выдающиеся способности к обобщению на новые классы задач и на новые распределения данных, ранее не видимых для нее.

Адаптация больших сегментирующих моделей

Для исследования применимости вышеописанных техник в сфере решения прикладных задач, была выбрана модель SAM в качестве большой модели для дальнейшей адаптации. За счет self-supervised подходов, использованных перед тренировкой модели, эта модель обладает выдающимися способностями к few-shot и zero-shot сегментации, что говорит о ее хорошей обобщенности на разных доменах данных [34].

Последние достижения в области эффективных методов адаптации больших моделей, особенно в контексте Segment Anything модели, подчеркивают растущую необходимость в предметно-направленных улучшениях для преодоления ограничений в специализированных задачах. Одним из таких подходов является Conv-LoRA [35], что был разработан как общий фреймворк для улуч-

шения производительности SAM в задачах семантической сегментации. Метод успешно преодолевает ограничения SAM в некоторых специализированных областях, демонстрируя превосходные возможности адаптации.

Также были попытки, направленные не на получение широко обобщенной вариации SAM на всевозможных доменах, а на адаптацию к одному классу данных — медицинским снимкам. Учитывая врожденные ограничения SAM, сегментации определенных классов данных не достигает, порой, даже средних по качеству результатов, так как ни данные такого рода, ни данные из смежных отраслей или схожей природы не использовались в процессе тренировки модели. К таким данным относятся медицинские КТ и МРТ снимки как в 2D, так и в 3D формате [36, 37]. Оба метода в этих работах используют техники PEFT (parameter efficient fine-tuning) для адаптации модели к новым данным, в том числе и к 3D снимкам. Medical SAM Adapter [36] использует обычный MLP-прослойки в качестве адаптеров, что позволяет снизить почти до минимума количество обучаемых параметров. Несмотря на это, метод достигает SOTA результатов на 17 наборах данных в задачах сегментации изображений, подчеркивая свою эффективность в решении проблемы недостаточной производительности SAM на медицинских снимках. Авторы SAM-Adapter [37] представляет более универсальный подход, используя помимо адаптеров-прослоек дополнительную информацию, путем интегрирования предметно-специфической информации в форме дополнительных визуальных данных. SAM-Adapter значительно улучшает производительность SAM в сложных задачах, превосходя модели сетей, специфичных для задач, и достигая SOTA результатов как на медицинских данных, так и на других доменах. Эта адаптивность открывает новые возможности для применения SAM в различных областях, включая об-

работку медицинских изображений, сельское хозяйство и дистанционное зондирование.

Расширяя область задач сегментации переднего плана, Explicit Visual Prompting (EVP) [38] представляет универсальную структуру для различных задач сегментации переднего плана в компьютерном зрении, таких как выделение существенных объектов, обнаружение подделок, обнаружение нефокусированных размытий, обнаружение теней и обнаружение камуфлированных объектов. Предложенная структура, Explicit Visual Prompting (EVP), вдохновлена протоколами предварительного обучения и настройки запросов в обработке естественного языка (NLP). EVP фокусируется на явном визуальном содержании в отдельных изображениях, используя замороженные вложения патчей и компоненты высокой частоты. Метод превосходит полную настройку и другие эффективные методы точной настройки параметров в различных задачах сегментации переднего плана, продемонстрировав свою масштабируемость по различным наборам данных, архитектурам и предварительно обученным весам.

В заключение, текущее состояние дел в моделях семантической сегментации подчеркивает изменение парадигмы в сторону эффективных методов адаптации для преодоления ограничений в конкретных областях. Успех Conv-LoRA, Med-SA, SAM-Adapter и EVP подчеркивает потенциал универсальных, предметно-специфичных улучшений, подчеркивая необходимость целенаправленных адаптаций для решения задач в реальных приложениях. Текущий тренд в исследованиях предполагает нюансированный подход, настраивая модели сегментации под конкретные задачи с использованием эффективных методов адаптации, тем самым повышая применимость и устойчивость этих моделей в различных областях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yun Bai, Grady Wagner, and Christopher B Williams. Effect of particle size distribution on powder packing and sintering in binder jetting additive manufacturing of metals. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 139(8):081019, 2017.
2. Choong Do Lee. Effect of grain size on the tensile properties of magnesium alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 459(1-2):355–360, 2007.
3. Philipp Schempp, CE Cross, Ralf Häcker, Andreas Pittner, and Michael Rethmeier. Influence of grain size on mechanical properties of aluminium gta weld metal. *Welding in the World*, 57:293–304, 2013.
4. Heinrich M Jaeger, Sidney R Nagel, and Robert P Behringer. The physics of granular materials. *Physics today*, 49(4):32–38, 1996.
5. Wei-Jian Hu, Jie Fan, Yong-Xing Du, Bao-Shan Li, Naixue Xiong, and Ernst Bekkering. Mdfc-resnet: an agricultural iot system to accurately recognize crop diseases. *IEEE Access*, 8:115287–115298, 2020.
6. Jakob D Redlinger-Pohn, Matthias Grabner, Philipp Zauner, and Stefan Radl. Separation of cellulose fibres from pulp suspension by froth flotation fractionation. *Separation and Purification Technology*, 169:304–313, 2016.
7. John Canny. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, (6):679–698, 1986.
8. Saining Xie and Zhuowen Tu. Holistically nested edge detection. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*, pages 1395–1403, 2015.
9. David Bryant Mumford and Jayant Shah. Optimal approximations by piecewise smooth functions and associated variational problems. *Communications on pure and applied mathematics*, 1989.
10. Ren and Malik. Learning a classification model for segmentation. In *Proceedings ninth IEEE international conference on computer vision*, pages 10–17. IEEE, 2003.
11. David Stutz, Alexander Hermans, and Bastian Leibe. Superpixels: An evaluation of the state-of-the-art. *Computer Vision and Image Understanding*, 166:1–27, 2018.
12. Radhakrishna Achanta, Appu Shaji, Kevin Smith, Aurelien Lucchi, Pascal Fua, and Sabine Süsstrunk. Slic superpixels. Technical report, 2010.

13. Ming-Yu Liu, Oncel Tuzel, Srikumar Ramalingam, and Rama Chellappa. Entropy rate superpixel segmentation. In CVPR 2011, pages 2097–2104. IEEE, 2011.
14. Olaf Ronneberger, Philipp Fischer, and Thomas Brox. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention—MICCAI 2015: 18th International Conference, Munich, Germany, October 5–9, 2015, Proceedings, Part III 18, pages 234–241. Springer, 2015.
15. Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, and Ali Farhadi. You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pages 779–788, 2016.
16. Kaiming He, Georgia Gkioxari, Piotr Dollár, and Ross Girshick. Mask r-cnn. In Proceedings of the IEEE international conference on computer vision, pages 2961–2969, 2017.
17. Keyhan Najafian, Alireza Ghanbari, Mahdi Sabet Kish, Mark Eramian, Gholam Hassan Shirdel, Ian Stavness, Lingling Jin, and Farhad Maleki. Semi-self-supervised learning for semantic segmentation in images with dense patterns. *Plant Phenomics*, 5:0025, 2023.
18. Xin Xu, Qing Geng, Feng Gao, Du Xiong, Hongbo Qiao, and Xinming Ma. Segmentation and counting of wheat spike grains based on deep learning and textural features. *Plant Methods*, 19(1):77, 2023.
19. Javad Manashti, Pouyan Pirnia, Alireza Manashty, Sahar Ujan, Matthew Toews, and François Duhaime. Psdnet: Determination of particle size distributions using synthetic soil images and convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:2303.04269, 2023.
20. Jun Long, Yuxi Yang, Liuji Hua, and Yiqi Ou. Self-supervised augmented patches segmentation for anomaly detection. In Proceedings of the Asian Conference on Computer Vision, pages 1926–1941, 2022.
21. Peter Warren, Nandhini Raju, Abhilash Prasad, Shajahan Hossain, Ramesh Subramanian, Jayanta Kapat, Navin Manjooran, and Ranajay Ghosh. Grain and grain boundary segmentation using machine learning with real and generated datasets. arXiv preprint arXiv:2307.05911, 2023.
22. Philipp Schempp, CE Cross, Ralf Häcker, Andreas Pittner, and Michael Rethmeier. Influence of grain size on mechanical properties of aluminium gta weld metal. *Welding in the World*, 57:293–304, 2013.
23. Mathilde Caron, Hugo Touvron, Ishan Misra, Hervé Jégou, Julien Mairal, Piotr Bojanowski, and Armand Joulin. Emerging properties in self-supervised vision transformers. In Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision, pages 9650–9660, 2021.
24. Jean-Bastien Grill, Florian Strub, Florent Altché, Corentin Tallec, Pierre Richemond, Elena Buchatskaya, Carl Doersch, Bernardo Avila Pires, Zhaohan Guo, Mohammad Gheshlaghi Azar, et al. Bootstrap your own latent—a new approach to self-supervised learning. *Advances in neural information processing systems*, 33:21271–21284, 2020.
25. Alexander Kirillov, Eric Mintun, Nikhila Ravi, Hanzi Mao, Chloe Rolland, Laura Gustafson, Tete Xiao, Spencer Whitehead, Alexander C Berg, Wan Yen Lo, et al. Segment anything. arXiv preprint arXiv:2304.02643, 2023.
26. Shilong Liu, Zhaoyang Zeng, Tianhe Ren, Feng Li, Hao Zhang, Jie Yang, Chunyuan Li, Jianwei Yang, Hang Su, Jun Zhu, et al. Grounding dino: Marrying dino with grounded pre-training for open-set object detection. arXiv preprint arXiv:2303.05499, 2023.
27. Pan Zhou, Yichen Zhou, Chenyang Si, Weihao Yu, Teck Khim Ng, and Shuicheng Yan. Mugs: A multi-granular self-supervised learning framework. arXiv preprint arXiv:2203.14415, 2022.
28. Brown T. et al. Language models are few-shot learners. *Advances in neural information processing systems*. — 2020. — T. 33. — C. 1877–1901.
29. Liu P. et al. Pre-train, prompt, and predict: A systematic survey of prompting methods in natural language processing. *ACM Computing Surveys*. — 2023. — T. 55. — №. 9. — C. 1–35.
30. Sandler M. et al. Fine-tuning image transformers using learnable memory. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. — 2022. — C. 12155–12164.
31. Radford A. et al. Learning transferable visual models from natural language supervision. *International conference on machine learning*. — PMLR, 2021. — C. 8748–8763.
32. Bahng H. et al. Exploring visual prompts for adapting large-scale models. arXiv preprint arXiv:2203.17274. — 2022.
33. Jia M. et al. Visual prompt tuning. *European Conference on Computer Vision*. — Cham: Springer Nature Switzerland, 2022. — C. 709–727.
34. Kirillov A. et al. Segment anything. arXiv preprint arXiv:2304.02643. — 2023.
35. preprint, article currently of review.
36. Wu J. et al. Medical sam adapter: Adapting segment anything model for medical image segmentation. arXiv preprint arXiv:2304.12620. — 2023.
37. Chen T. et al. SAM Fails to Segment Anything? — SAM-Adapter: Adapting SAM in Underperformed Scenes: Camouflage, Shadow, and More. arXiv preprint arXiv:2304.09148. — 2023.
38. Liu W. et al. Explicit Visual Prompting for Universal Foreground Segmentations. arXiv preprint arXiv:2305.18476. — 2023.

© Гуров Андрей Владимирович (avgurov@itmo.ru); Камиллов Эркин Махмуджанович (emkamilov@itmo.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ: ИНТЕГРАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

INFORMATION SECURITY MEASURES IN COMPLEX SYSTEMS: INTEGRATION OF MODERN DIGITAL TECHNOLOGIES

K. Kashirin

Summary. Complex systems are an integral companion of human activity. In the context of digitalization, information risks and cyber threats are increasing, which requires the application of information security measures. The article presents the key processes and results of complex systems, provides an overview of existing digital technologies for information protection in information systems, and presents models for countering threats to information security in complex systems using advanced technologies.

Keywords: complex systems, information security, cyber threats, digital technologies, counteraction models.

Каширин Кирилл Дмитриевич
Московский авиационный институт
ki.kashirin@yandex.ru

Аннотация. Сложные системы — неотъемлемый спутник человеческой деятельности. В условиях цифровизации повышаются информационные риски и киберугрозы, что требует применения мер обеспечения информационной безопасности. В статье представлены ключевые процессы и результаты сложных систем, проведён обзор существующих цифровых технологий для защиты информации в информационных системах, а также представлены модели противодействия угрозам информационной безопасности в сложных системах, использующие передовые технологии.

Ключевые слова: сложные системы, информационная безопасность, киберугрозы, цифровые технологии, модели противодействия.

В XXI веке человеческое взаимодействие все чаще носит цифровой характер. По мере научно-технологического прогресса, во многом основанного сегодня на использовании передовых цифровых технологий, системы взаимодействия становятся всё более сложными. К наиболее общим примерам сложных систем можно отнести экосистемы планеты, глобальный климат, мозг человека, иммунную систему, города и городские системы (транспортные, коммуникационные, энергетические и т. д.), Вселенную и др. Сложные системы получили свое название потому, что они состоят из множества компонентов. Сложные системы проявляются в различных формах, будь то физические, биологические или социальные. Ввиду столь широкого спектра рассматриваемых объектов может возникнуть вопрос о целесообразности их изучения в рамках единой концептуальной парадигмы. Однако, несмотря на то что многие научные дисциплины традиционно исследуют составляющие систем сами по себе, наука о сложных системах направлена на понимание взаимосвязей между элементами внутри системы. В качестве примера понимания сути сложных систем можно показать различие между академическими дисциплинами и изучением сложных систем (рис. 1). На представленном изображении можно наблюдать примеры систем, которые, несмотря на наличие однотипных компонентов (молекулы, клетки и люди), демонстрируют разнообразие отношений между этими элементами. На рисунке каждая строка иллюстрирует определённый тип взаимодействия компонентов. Для

случайных систем характерно независимое поведение их элементов, т. е. действия каждого компонента не оказывают влияния на остальные. Примером когерентных систем служат те, в которых элементы демонстрируют идентичное поведение; в таких системах параметры одной части системы (расположение, ориентация и скорость одной части) полностью определяют аналогичные параметры остальных частей. Коррелированные системы занимают промежуточное положение между этими двумя крайними типами. В таких системах поведение компонентов связано, однако не до такой степени, чтобы каждый элемент вел себя идентично другим. Например, форма одной части снежинки имеет корреляцию с формой остальных частей системы, но эта взаимосвязь не является абсолютной.

Также можно выделить ключевые процессы и результаты функционирования сложных систем. Изменчивое состояние, воспринимаемое как норма для таких систем, может привести к различным явлениям, включая фазовые переходы, катастрофические сломы и непредсказуемые последствия, что показано ниже (табл. 1).

Центральной парадигмой для моделирования динамики взаимодействующих систем в настоящее время считаются сложные сети. Тем не менее, такие сети в основном ограничены описанием взаимодействий между парами элементов. В реальности же системы зачастую характеризуются более сложными и высокоуровневыми

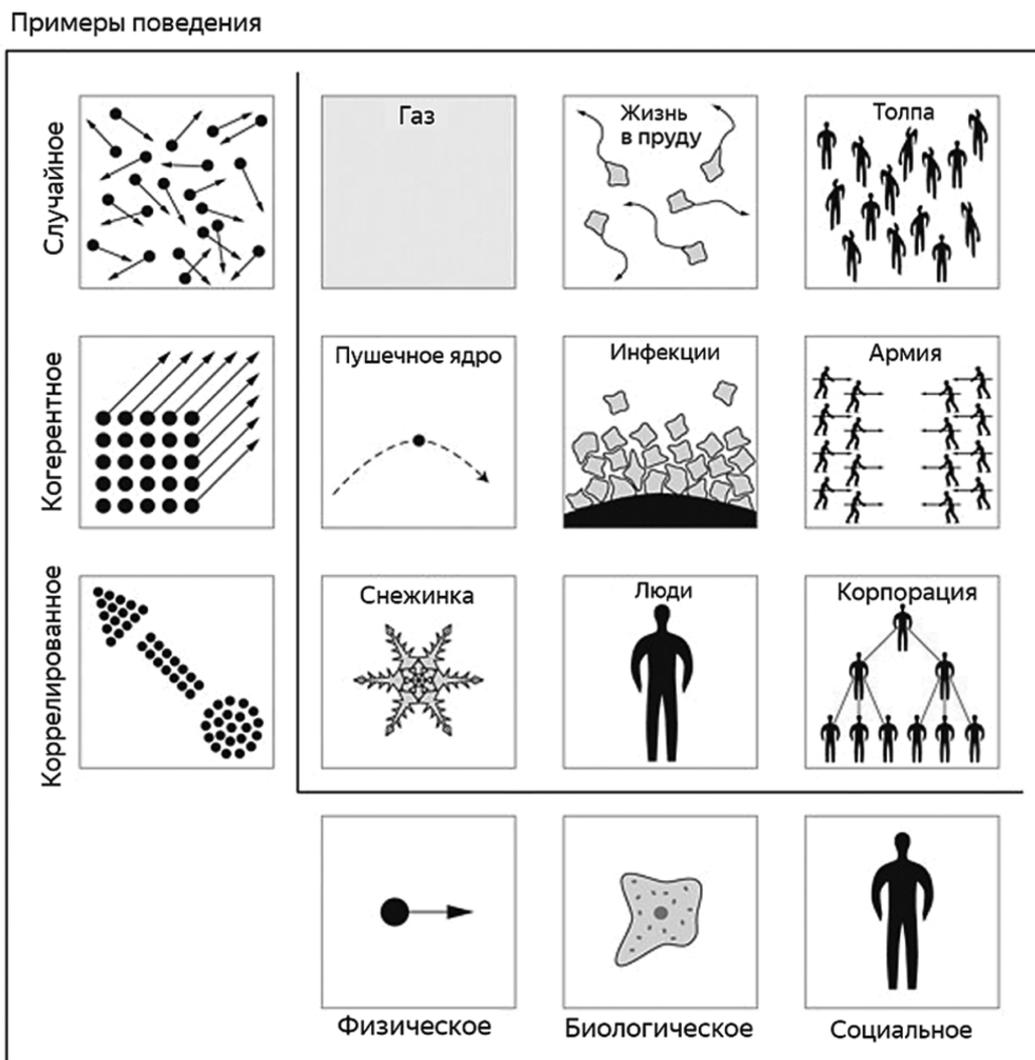


Рис. 1. Взаимосвязь компонентов систем: примеры поведения

Источник: [9]

Таблица 1.

Ключевые процессы и результаты сложных систем

Теории сложности	Процессы	Результаты
Эмерджентность	Ситуации неравновесия: напряжения, триггеры и небольшие события, выходящие за рамки нормы; положительная обратная связь и всплески усиления; фазовые переходы; самоорганизация	Непредсказуемые результаты: новые структуры, узоры и свойства внутри системы (например, распределённое лидерство), новый уровень анализа (например, сеть) или коллективное явление (например, коллективное действие); эмерджентность может принимать две формы: композиция или компиляция.
Козволюция	Взаимозависимость и перекрёстные взаимосвязи; многоуровневая динамика; двусторонняя или обратная причинно-следственная связь	Взаимные влияния; взаимные адаптации и изменения с течением времени
Хаос	Чувствительность к начальным условиям; ограниченная траектория (например, странный аттрактор); зависимость от времени и необратимая динамика	Катастрофические сбои (например, системный риск, нарушения кибербезопасности); эскалация причин, ведущая к разрушительным социальным последствиям (например, нарушению жизни на большом масштабе)
Масштабируемая динамика	Нестабильность и большие вариации; единая причина, ведущая к цепочке взаимосвязанных событий	Самоподобие на разных масштабах; положительные или отрицательные крайние результаты; фрактальная динамика; степенные законы

Источник: [3]

взаимодействиями, включающими группы, состоящие из трех и более элементов [2].

В XXI веке к числу наиболее сложных систем присоединился Интернет — всемирная паутина, охватывающая сегодня миллионы сайтов, социальных сетей, пользователей и их взаимодействий. Согласно данным DataReportal, сегодня интернетом пользуются 5,35 млрд человек, или 66 % всего населения планеты [12].

В рамках капиталистической мир-системы общественное развитие при прочих равных условиях считается свободным. Как утверждал Валлерстайн, «свобода большинства подразумевает активное вовлечение большинства. Она подразумевает, что большинство имеет доступ к информации» [1, С. 196]. Действительно, с помощью современных средств коммуникации (главным образом, Интернета) большинство людей имеет возможность получать информацию и передавать ее другим практически мгновенно. Современного человека, проживающего в развитых и развивающихся странах и регионах, уже трудно представить без смартфона или персонального компьютера; компании в условиях усиливающейся конкурентной борьбы внедряют цифровые технологии в бизнес или изначально выстраи-

вают цифровой бизнес; государства также стремятся к цифровому взаимодействию с населением. Все эти тенденции в современной научной литературе принято объединять под общим названием «индустрия 4.0», или четвертая промышленная революция, которое отражает стремительное развитие технологий и их интеграцию в реальность, в частности, в реальные бизнес-процессы. Автоматизация, роботизация, искусственный интеллект, киберфизические системы, Интернет вещей — все эти и многие другие технологии и процессы формируют новую, «дополненную социальную реальность» [10]. Условие современного общества усиливается за счёт гиперсвязей и взаимных зависимостей, охватывающих людей, технологические артефакты, процессы и учреждения. Сложность оказывает влияние на человеческие возможности и опыт во всех аспектах. В ответ на вызовы, обусловленные цифровизацией, как отдельные индивиды, так и компании активно прибегают к цифровым решениям, что позволяет им эффективно решать возникающие непростые задачи [3]. В частности, одной из основных угроз в контексте цифровизации является информационная безопасность. В настоящее время появляется всё больше способов нарушения информационной безопасности. По данным лаборатории Касперского, в конце мая 2024 года по всему миру совершалось

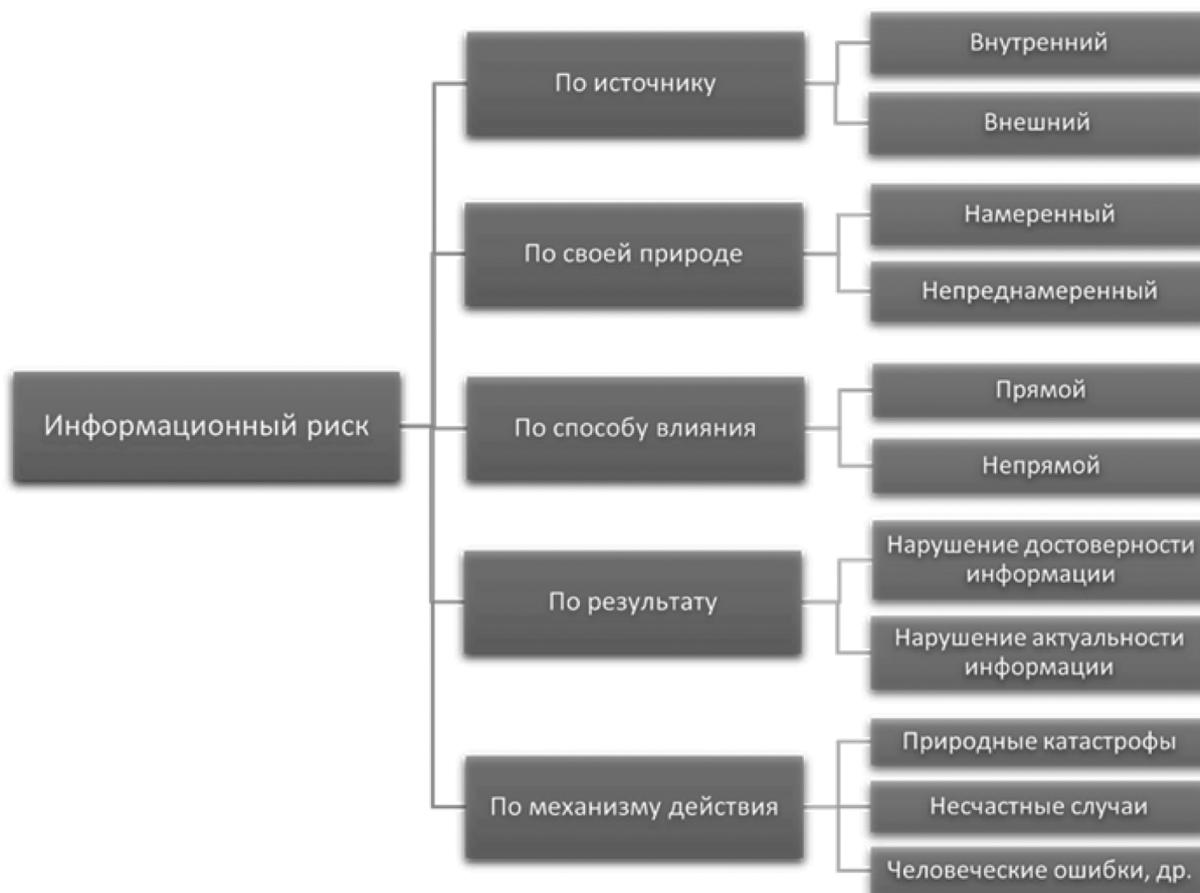


Рис. 2. Классификация информационных рисков

Источник: [5]

14,1 миллиона кибератак в режиме реального времени, при этом наиболее заражаемыми странами являются Россия, Китай, США, Бразилия и Вьетнам [11].

Бурное развитие информационных технологий и связанных с ними услуг, таких как Интернет вещей, в значительной степени увеличило необходимость информационной безопасности для защиты ценных данных, которые сохраняются в этих системах. При этом в настоящее время безопасность информации организаций всё чаще определяется эффективностью деятельности их специалистов в области информационной безопасности, которые должны обладать навыками сбора, анализа и использования данных, а также нести ответственность за обеспечение защиты пользовательской информации [6].

Развитие культуры информационной безопасности в организациях играет ключевую роль в снижении угроз, связанных с утечкой информации и другими инцидентами. Становление культуры информационной безопасности началось уже давно и остается крайне важным в наше время. Современные научные исследования и практика бизнеса направлены на противодействие различным рискам, угрожающим защите информации. Формирование и поддержание культуры информационной безопасности стало важным элементом управления рисками [4].

Информационная безопасность сегодня вышла за рамки технических аспектов и превратилась в одну из ключевых управленческих задач текущего десятилетия. Усиленная цифровизация, особенно после кризиса, вызванного пандемией COVID-19, еще более обострила потребность в глубоких знаниях в области информационной безопасности среди руководителей компаний [8].

Можно выделить такие проблемы информационной безопасности, как идентификация, контроль доступа, целостность данных, конфиденциальность информации, неприкосновенность (неопровержимость) данных [7]. В общем смысле существует большое количество информационных рисков (рис. 2).

С течением времени сложность информационных систем продолжает расти, что делает вопросы обеспечения информационной безопасности все более значимыми для любой организаций [10]. В этом контексте особое внимание уделяется интеграции современных цифровых технологий и совершенствованию методов защиты информации.

Анализ современной научной литературы позволил выделить ключевые цифровые технологии для защиты информации в информационных системах (табл. 2).

Эти современные цифровые технологии играют ключевую роль в обеспечении информационной безопасно-

Таблица 2.

Обзор существующих цифровых технологий для защиты информации в информационных системах

Технология	Применение для защиты информации в информационных системах
Криптография	Применяется для шифрования конфиденциальной информации, обеспечения безопасности транзакций и проверки подлинности цифровых подписей
Контроль доступа	Используется для реализации политик безопасности путем предоставления или отказа в доступе к ресурсам на основе учетных данных пользователя и заранее определенных правил
Сетевая безопасность	Применяется для защиты сетевой инфраструктуры с помощью брандмауэров, систем обнаружения вторжений и безопасных протоколов
Безопасность конечных устройств	Применяется для защиты устройств с помощью антивирусного программного обеспечения и инструментов обнаружения угроз
Безопасность данных	Обеспечивает защиту данных с помощью шифрования, безопасного контроля доступа и технологий предотвращения утечек данных
Облачная безопасность	Обеспечивает безопасность облачных систем с помощью шифрования, контроля доступа и посредников безопасности облачного доступа
Безопасность приложений	Обеспечивает защиту приложений с помощью тестирования безопасности и развертывания веб-брандмауэров приложений
Системы SIEM (управление информацией о безопасности и событиями безопасности)	Используются для сбора, анализа и мониторинга журналов безопасности и событий из различных систем, что позволяет быстро обнаруживать и реагировать на потенциальные инциденты безопасности
Автоматизация безопасности	Повышает безопасность за счет автоматизации процессов обнаружения и реагирования на угрозы, что сокращает время и усилия, необходимые для идентификации и устранения угроз
Безопасность блокчейна	Обеспечивает защиту данных в блокчейн-сетях с помощью криптографических методов и механизмов консенсуса, что поддерживает безопасность и целостность децентрализованных транзакций и записей
Модель нулевого доверия	Применяется для строгого контроля доступа и постоянной проверки пользователей и устройств, обеспечивая доступ только авторизованным лицам к критическим системам и данным
Искусственный интеллект и машинное обучение	Используются для повышения безопасности за счет выявления аномалий и прогнозирования потенциальных угроз
Физическая безопасность	Применяются для защиты физических активов с помощью биометрического контроля доступа и систем мониторинга окружающей среды

Источник: составлено автором на основе обобщения литературы

Таблица 3.

Модели противодействия угрозам информационной безопасности в сложных системах, использующие передовые технологии

Модель	Используемые технологии	Ключевые компоненты	Примеры применения
Анализ поведения и обнаружение аномалий	Машинное обучение, искусственный интеллект	Сбор данных, выделение признаков, обучение моделей, обнаружение аномалий, автоматизированная реакция	Обнаружение вторжений, выявление мошенничества, мониторинг инсайдерских угроз
Архитектура Zero Trust (нулевое доверие)	Облачные вычисления, микросегментация, управление идентификацией	Микросегментация, непрерывная аутентификация, принцип минимальных привилегий, безопасность конечных устройств	Защита облачных сред, обеспечение безопасности удаленной работы, безопасность корпоративных сетей
Безопасность на основе блокчейна	Блокчейн, криптография	Децентрализация, неизменность, механизмы консенсуса, умные контракты	Защита цепочек поставок, защита данных в здравоохранении, предотвращение цифрового мошенничества
Платформы искусственного интеллекта для киберугроз	Искусственный интеллект, анализ больших данных	Сбор данных, распознавание шаблонов, прогнозная аналитика, автоматизированная реакция	Проактивное выявление угроз, усиление центров управления безопасностью, оперативная информация
Квантовая криптография и постквантовая безопасность	Квантовые вычисления, продвинутое криптографические алгоритмы	Квантовое распределение ключей, постквантовые алгоритмы, квантовая генерация	Защищенная связь для военных, защита критической инфраструктуры

Источник: составлено автором на основе обобщения литературы.

сти в сложных системах, предоставляя возможности для формирования разнообразных моделей для противодействия угрозам.

К основным моделям противодействия информационным рискам в сложных системах, использующим передовые технологии, можно отнести следующие: модель поведенческого анализа и обнаружения аномалий, архитектура нулевого доверия (ZTA), модели безопасности на основе блокчейна, платформы для анализа угроз на основе искусственного интеллекта, квантовая криптография и постквантовые модели безопасности.

Их ключевые компоненты и примеры применения представлены ниже (табл. 3).

Таким образом, современные цифровые технологии активно используются для мониторинга, предупреждения и обнаружения нарушений информационной безопасности. Сегодня можно выделить пять основных моделей: модель поведенческого анализа и обнаружения аномалий, архитектура нулевого доверия (ZTA), модели безопасности на основе блокчейна, платформы для анализа угроз на основе искусственного интеллекта, квантовая криптография и постквантовые модели безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Валлерстайн И. Миросистемный анализ: введение / пер. Н. Тюкиной. М.: Издательский дом «Территория будущего», 2006. (Серия «Университетская библиотека Александра Погорельского»). 248 с.
2. Battiston F. et al. The physics of higher-order interactions in complex systems // Nature Physics. 2021. Vol. 17. №. 10. P. 1093–1098.
3. Benbya H. et al. Complexity and information systems research in the emerging digital world // Mis Quarterly. 2020. Vol. 44. №. 1. P. 1–17.
4. Da Veiga A. et al. Defining organisational information security culture — Perspectives from academia and industry // Computers & Security. 2020. Vol. 92. P. 1–13.
5. Kuzminykh I. et al. Information security risk assessment // Encyclopedia. 2021. Vol. 1. №. 3. P. 602–617.
6. Ma X. IS professionals' information security behaviors in Chinese IT organizations for information security protection // Information Processing & Management. 2022. Vol. 59. №. 1. P. 1–17.
7. Mallaboyev N.M. et al. Information security issues // Conference Zone. 2022. P. 241–245.
8. Podrecca M. et al. Information security and value creation: The performance implications of ISO/IEC 27001 // Computers in Industry. 2022. Vol. 142. P. 1–14.
9. Siegenfeld A.F., Bar-Yam Y. An introduction to complex systems science and its applications // Complexity. 2020. Vol. 2020. №. 1. P. 1–16.
10. Thomas P., Nicholas D. The Fourth Industrial Revolution: Shaping New Era // Journal of International Affairs. 2018. Vol. 72. №. 1. P. 17–22.
11. Интерактивная карта киберугроз // Лаборатория Касперского. URL: <https://cybermap.kaspersky.com/ru/stats> (дата обращения: 09.06.2024).
12. Digital 2024: Global Overview Report / DataReportal URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2024-global-overview-report> (дата обращения: 09.06.2024).

© Каширин Кирилл Дмитриевич (ki.kashirin@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АДАПТАЦИЯ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ НЕФТЕСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ADAPTATION OF AN EXPERT INFORMATION AND ANALYTICAL DECISION SUPPORT SYSTEM IN THE FIELD OF INFORMATION SECURITY FOR OILFIELD SERVICE ENTERPRISES

A. Krasnov
I. Chekanov
K. Lyssev

Summary. For manufacturing enterprises with a high degree of automation, existing in highly competitive conditions, there is an urgent issue of ensuring information security in accordance with the requirements of the legislation of the Russian Federation. In particular, the need to identify priority areas and assets to be protected, cost optimization, accumulation and preservation of information, automation of the work of information security specialists. Expert information and analytical decision support systems are used to automate work with the regulatory framework in the field of information security. The article examines the existing problems of information security at oilfield service enterprises, the features, and ways of adapting the developed system to ensure information protection, management and reduction of risks associated with confidential information.

Keywords: management, automation, expert information and analytical system, information security, oilfield service enterprises.

Краснов Андрей Евгеньевич

доктор физико-математических наук, профессор,
Российский Государственный Социальный Университет
krasnovmgutu@yandex.net

Чеканов Иван Романович

Аспирант, Российский Государственный
Социальный Университет
cartmen98@yandex.ru

Лысцев Константин Сергеевич

Аспирант, Российский Государственный
Социальный Университет
Konstantin.Lystsev@bk.ru

Аннотация. Для производственных предприятий с высокой степенью автоматизации, существующих в условиях высокой конкуренции, стоит актуальный вопрос обеспечения информационной безопасности в соответствии с требованиями законодательства Российской Федерации. В частности, необходимость определения приоритетных направлений и активов, подлежащих защите, оптимизация затрат, накопление и сохранение информации, автоматизация работы специалистов защиты информации. Для автоматизации работы с нормативной базой в области информационной безопасности применяются экспертные информационно-аналитические системы поддержки принятия решений. В статье рассматриваются существующие проблемы информационной безопасности на нефтесервисных предприятиях, особенности и способы адаптации разработанной системы для обеспечения защиты информации, управления и снижения рисков, связанных с конфиденциальной информацией.

Ключевые слова: управление, автоматизация, экспертная информационно-аналитическая система, информационная безопасность, нефтесервисные предприятия.

Введение

В условиях высокой конкуренции промышленных предприятий обеспечение информационной безопасности является актуальной задачей, основанной на соблюдении требований законодательства Российской Федерации. Специалисты по защите информации сталкиваются с широким перечнем задач, определяемых спецификой и направлением деятельности организации.

Значимое место в промышленности страны занимают нефтесервисные предприятия. Они осуществляют добычу, переработку и транспортировку нефти и газа. Организации обладают значительным объемом инфор-

мации относительно важнейших сырьевых и ресурсных показателей, требующих защиты от утечек, несанкционированного доступа и других угроз.

Работа специалистов отдела информационной безопасности (ИБ) требует особой внимательности, ответственного подхода к комплексу проблем, возникающих ввиду различных особенностей технологических процессов и производств, в том числе на нефтесервисных предприятиях.

Для автоматизации процесса поиска и анализа регламентирующих документов специалистами ИБ и поддержки принятия управленческих решений руководством предприятия применяются различные ин-

струменты. Наиболее перспективным и комплексным направлением, согласно проведенным исследованиям [1], [2], является использование экспертных информационно-аналитических систем (ЭИАС).

В связи с этим, целью данной статьи является анализ проблем информационной безопасности на нефтесервисных предприятиях и предложение подхода к адаптации разработанной ЭИАС для предприятий данного профиля.

Для реализации цели сформулированы следующие задачи:

1. Рассмотреть структуру и архитектуру разработанной интеллектуальной системы.
2. Провести анализ деятельности нефтесервисных предприятий, учитывая основные аспекты и особенности их функционирования в контексте информационной безопасности.
3. Определить приоритетные направления работы специалистов ИБ в сфере нефтесервисных предприятий, учитывая их специфику и требования к обеспечению безопасности информационных ресурсов.
4. Выявить особенности инструментов автоматизации работы специалистов ИБ, применяемых на данных предприятиях, анализируя их эффективность, надежность и соответствие требованиям безопасности.
5. Разработать и предложить подходы к адаптации разработанной интеллектуальной системы к деятельности специалистов ИБ на нефтесервисных предприятиях, учитывая специфику сферы и опираясь на современные требования и стандарты в области информационной безопасности.

В ходе исследования применялись методы анализа научных и практических работ в области информационной безопасности, а также подходы системного анализа.

Экспертная информационно-аналитическая система помощи принятия решений в области информационной безопасности

Система создана с целью автоматизации работы с законодательной и нормативной базой в области ИБ и, благодаря обширному функционалу, позволяет сотрудникам организации вести разноплановую работу с документами данной области. В процессе работы система предоставляет руководителю и сотрудникам удобный и эффективный инструмент для поиска и анализа документов, определяющих требования информационной безопасности для принятия решений в возникающих ситуациях.

Кроме того, система включает базу подготовленных экспертных рекомендаций, инструкций, опорных доку-

ментов и шаблонов в соответствии с решаемой типовой процедурой на предприятии.

ЭИАС использует различные методы и алгоритмы для анализа документов ИБ, включая распознавание запроса пользователя, анализ ключевых слов и фраз и определение соответствия требованиям нормативных актов [3]. Это позволяет существенно сократить время и усилия, требуемые для поиска и анализа документов в области информационной безопасности.

Разработанную систему можно охарактеризовать, как экспертную информационно-аналитическую систему (ЭИАС), т. к. она не ограничена по информационно-аналитическим технологиям, но имеет ограничения по технологиям экспертных систем:

- Не использует механизм объяснения, при выводе применяются производственные технологии;
- Не использует логику исчислений и высказываний.
- Использует статические данные, вводимые пользователем.

При этом продукции основаны не на формальной цепочке выводов, а на правилах, определяемых экспертами, т. е. скрытой логики их вывода по знанию ситуаций, что дополнительно классифицирует систему, как статическую, поскольку изменений в процессе решения типовых процедур не предполагается.

Разработанная ЭИАС «Фемида» [4] объединяет несколько инструментов в области информационной безопасности:

1. Справочные системы, такие как «Консультант-Плюс», «Гарант» и другие, являются одним из наиболее широко известных и активно применяемых инструментов данного типа [5]. Они позволяют осуществлять точный поиск необходимой информации на основе актуализируемой базы данных и предоставлять широкий набор документов.

2. Перечни документов, например «Справочник законодательства РФ в области информационной безопасности» [6], предоставляющих практическую полноту и актуальность информации. Они помогают ориентироваться в нормативных актах в формате каталогизатора.

3. Карта законодательства в области ИБ, отражающая иерархию законов и нормативных актов, что помогает легко находить связи между ними [7].

Однако, перечисленные инструменты не лишены недостатков [8], и разработанная ЭИАС позволяет комплексно подходить к поиску и решению ситуаций ИБ на предприятиях за счет базы знаний экспертов.

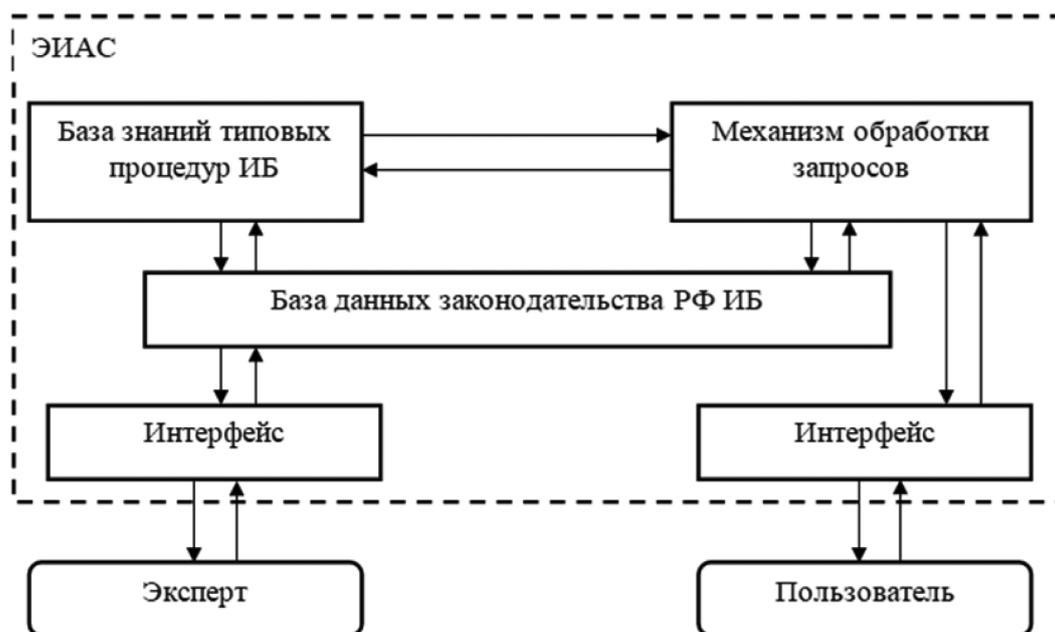


Рис. 1. Схема элементов ЭИАС

Разработанная система имеет ряд структурных компонентов:

1. База данных (БД) (законодательные и нормативные документы РФ);
2. База знаний (экспертные решения);
3. Машина логического вывода [9];
4. Интерфейс системы.

Взаимодействие элементов представлено на схеме (см. рис. 1).

Эксперт и пользователь системы взаимодействуют с элементами системы с помощью интерфейса. Эксперт участвует в подготовке, структуризации и систематизации базы данных и базы знаний ЭИАС.

Структура системы:

Основой структуры экспертной информационно-аналитической системы являются нормативные акты Российской Федерации, которые регулируют информационную безопасность в различных сферах.

1. «Информация»:
 - 1.1. Информация ограниченного доступа;
 - 1.2. Общедоступная информация;
 - 1.3. Информация, доступ к которой не может быть ограничен;
2. «Защита информации»:
 - 2.1. Физическая защита;
 - 2.2. Аппаратная защита;
 - 2.3. Программная защита;
 - 2.4. Организационная защита;
 - 2.5. Психологическая защита;
 - 2.6. Правовая защита;

3. «Аудит»:
 - 3.1. Аттестация аппаратно-программных комплексов;
 - 3.2. Внутренний аудит;
 - 3.3. Внешний аудит;
4. «Контроль»:
 - 4.1. Контроль доступа;
 - 4.2. Контроль сети;
 - 4.3. Контроль политик и процедур;
 - 4.4. Контроль событий;
 - 4.5. Контроль защиты информации;
5. «Управление»:
 - 5.1. Управление рисками;
 - 5.2. Управление программами безопасности;
 - 5.3. Управление ресурсами;
 - 5.4. Управление персоналом;
 - 5.5. Управление инцидентами;
6. «Угрозы»:
 - 6.1. Модель угроз;
 - 6.2. Модель нарушителя;
 - 6.3. Вредоносное программное обеспечение;
 - 6.4. Сетевые атаки.

Структурирование и представление групп позволяет пользователям ориентироваться на обобщенные понятия в области информационной безопасности и находить требуемые документы РФ.

Связь групп и подгрупп реализованной базы данных ЭИАС обусловлена выявленными семантическими отношениями ее документов и представлена следующим образом (см. рис. 2).

1. Группа «Информация» связана с:
 - «Защита информации»;

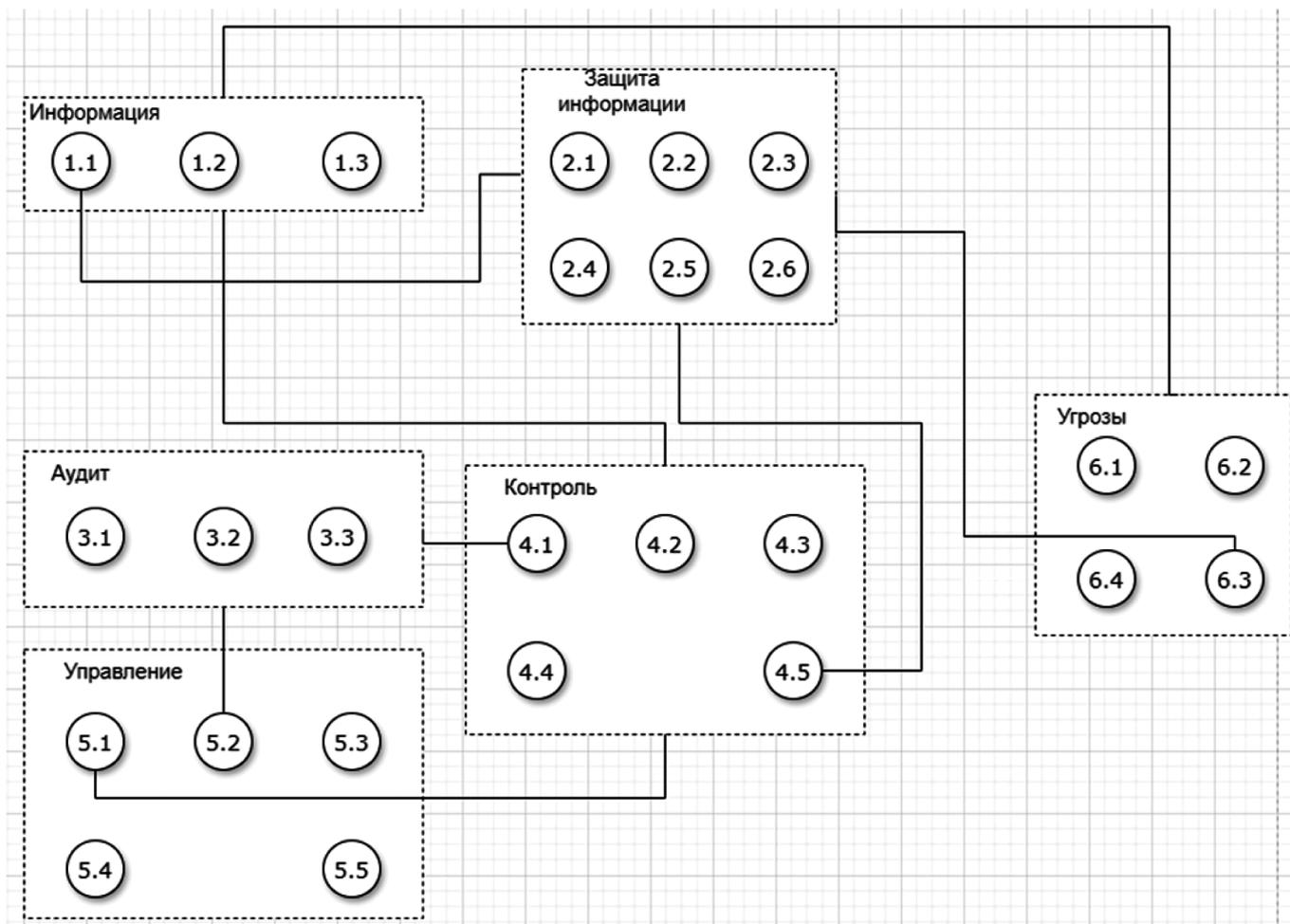


Рис. 2. Структура БД

- «Контроль»;
 - «Угрозы».
- Группа «Защита информации» связана с:
 - «Информация» (подблок «Информация ограниченного доступа»);
 - «Контроль» (подблок «Контроль защиты информации»);
 - «Угрозы» (подблок «Вредоносное программное обеспечение»).
 - Группа «Аудит» связана с:
 - «Контроль» (подблок «Контроль доступа»);
 - «Управление» (подблок «Управление программами безопасности»).
 - Группа «Контроль» связана с:
 - «Защита информации» (подблок «Контроль защиты информации»);
 - «Управление» (подблок «Управление рисками»).
 - Группа «Управление» связана с:
 - «Контроль» (подблок «Управление рисками»).
 - Группа «Угрозы» связана с:
 - «Защита информации» (подблок «Вредоносное программное обеспечение»).

Представленная структура позволяет отразить целостную картину взаимосвязей групп и подгрупп выявленных направлений в области ИБ.

Архитектура ЭИАС

Архитектура экспертной информационно-аналитической системы, основанной на базе данных, представляет собой совокупность реляционных таблиц, взаимосвязанных между собой ключами (см. рис. 3).

В состав схемы входят таблица «Keywords» — с ключевыми словами (семантическими составляющими), «Document_type» — тип нормативно-правового акта. Таблицы «Blocks», «Subblock», «documents_subblocks» описывают представленные структурой БД выделенные группы и подгруппы документов.

Структура ЭИАС может быть изменена и дополнена, в то время как архитектура остается неизменной. Данная особенность позволяет характеризовать ЭИАС инвариантной и применимой в различных областях [10].

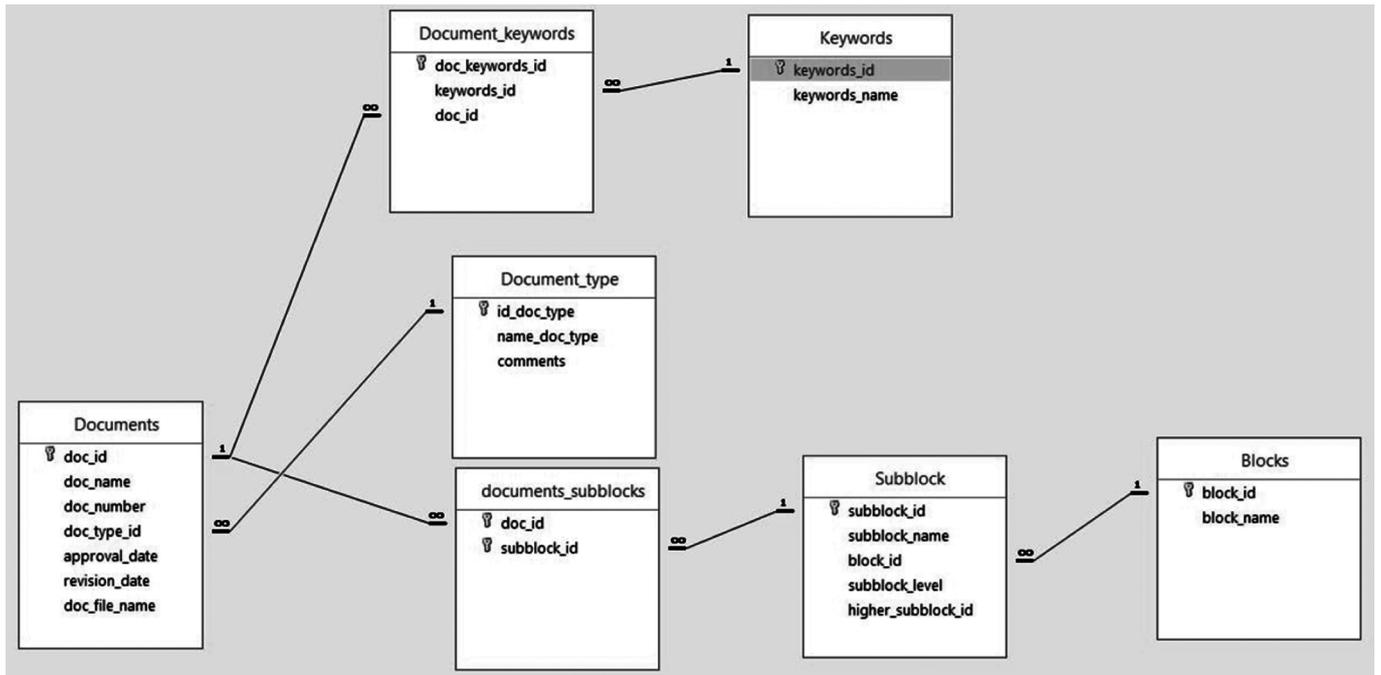


Рис. 3. Архитектура БД ЭИАС

Особенности работы нефтесервисных предприятий

Нефтесервисное предприятие — это компания, которая предоставляет различные услуги и оборудование для добычи, производства и транспортировки нефти и газа. К ним могут относиться бурение и ремонт скважин, строительство и обслуживание нефтяных и газовых месторождений, проведение геофизических исследований, снабжение оборудованием и материалами, техническую поддержку и другие связанные услуги [11]. Нефтесервисные предприятия являются важной составляющей в нефтяной и газовой промышленности, обеспечивая необходимыми ресурсами и экспертизами для эффективной работы данной отрасли.

Нефтегазовый сервис — это средство обеспечения энергетической и экологической безопасности страны. Например, в США и Китае к этому виду работ допущены, в основном, национальные компании. Это обусловлено стратегической значимостью для безопасности страны информации, получаемой с его помощью, о состоянии и перспективах минерально-сырьевых ресурсов государства (результаты геологоразведочных работ, сейсморазведки, бурения, геофизических исследований скважин на суше и море). Сервис обеспечивает необходимый уровень добычи и транспорта нефти и газа (проектирование разработки и обустройство месторождений, ремонт скважин, автоматизация промыслов, повышение нефтеотдачи, трубопроводы, строительство морских платформ и др.), является информационной основой экологической безопасности на суше, море и в недрах при добыче нефти и газа [12].

Финансовая емкость нефтесервисного рынка России значительна, и имеет тенденцию к ежегодному росту. Так, если в 2018 г. рынок нефтесервиса составлял 1,2 триллиона рублей, то в 2023 г. составил уже 1,48 триллиона.

Этому способствует медленное, но стабильное увеличение инвестиций в разведку и добычу, которые в 2022 г. составили 1,8 триллиона рублей [13].

Основными направлениями нефтяного сервиса являются бурение, гидроразрыв пласта, текущий и капитальный ремонт скважин, геологоразведка.

Приведенные данные говорят о том, что нефтесервис является самостоятельным сегментом нефтяной промышленности, критически важным, обеспечивающим нужный уровень добычи нефти и газа. Кроме того, нефтесервис, в силу своей технологичности, высокой степени механизации и автоматизации, является критической информационной инфраструктурой. Учитывая изложенное, изучение специфики обеспечения информационной безопасности нефтесервисных предприятий имеет значительный научный и практический потенциал.

Особенностями условий труда на нефтесервисных предприятиях являются: непрерывный характер, высокая степень механизации, автоматизация. Местом проведения работ является обособленно обустроенная местность — месторождения, расположенные, как правило, в большом отдалении от населённых пунктов.

Перечисленные факторы приводят к тому, что предприятия применяют вахтовый метод работы, содержат большой штат персонала.

Вертикально интегрированными нефтяными компаниями на нефтяных месторождениях организован серьёзный пропускной режим, в связи с чем между ними и нефтесервисными предприятиями организован постоянный документооборот по оформлению пропусков. Кроме того, помимо собственных сотрудников на нефтесервисные предприятия возложена обязанность по подготовке документов на получение пропусков и для субподрядных организаций.

Внутренние локальные документы нефтяных компаний, требования федерального законодательства усугубляют высокие требования к обучению персонала, состоянию здоровья, периодичности медицинских обследований.

Перечисленные факторы демонстрируют особую важность для нефтесервисных предприятий в защите персональных данных.

Приведенная статистика отражает, что нефтесервисный рынок является высококонкурентным, в связи с чем, в сегменте информационной безопасности возникают два важных направления.

Первое — защита коммерческой информации. Конкурирующие компании по-разному подходят к организации производства, использованию финансовых инструментов, оптимизации затрат. Данная информация является критической для компании и подлежит защите.

Второе — обеспечение бесперебойного функционирования каналов связи, программного обеспечения. Нефтесервисным компаниям присуща высокая мобильность, регулярные переезды на новые проекты и локация, которые требуют организации удаленных офисов, проектов. Кроме того, нефтесервис отличается высокой технологичностью, развитым уровнем автоматизации и широким применением различного программного обеспечения.

Нефтесервисные предприятия относятся к перечню предприятий, определяемых Федеральным законом от 26 июля 2017 г. №187 «О критической информационной инфраструктуре» [14], [15]. В связи с этим, определяются дополнительные требования в области информационной безопасности. Обеспечение требований федерального законодательства подразумевает постоянную работу по сбору информации о вовлечении в производство новых основных средств, регулярное категорирование объектов, оценку угроз, их моделирование и планирование средств и методов их нейтрализации. Кроме того, данное направление требует постоянного взаимодействия с органами государственной власти, такими как ФСТЭК, НЦКИ.

Перечисленные направления обеспечения информационной безопасности основные, но не являются исчерпывающими. Все они требуют административного регулирования и регламентирования, накопления и обработки большого массива информации.

Таким образом, нефтесервисные предприятия требовательны к следующему перечню информационных блоков:

1. Нормативная база федерального законодательства. На сегодняшний день в Российской Федерации принято и действует множество законов и подзаконных актов, так или иначе регулирующих вопросы информационной безопасности. В этот же блок возможно включить и отраслевое законодательство для конкретного предприятия, имеющее в своей структуре вопросы информационной безопасности. Важными нормативными актами являются, например, Федеральный закон от 27 июля 2006 г. №149-ФЗ «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» и Федеральный закон от 26 июля 2017 г. №187-ФЗ «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации».
2. Локальные нормативные акты предприятия, регламентирующие вопросы информационной безопасности: политики, регламенты, инструкции, приказы. В этот же блок могут быть добавлены локальные нормативные документы по информационной безопасности вертикально интегрированных нефтяных компаний, которые, как правило, являются приложениями к договорам на оказание услуг.
3. Критическая информационная инфраструктура. Как указано выше, нефтесервисные предприятия по-своему ОКВЭД относятся к критической информационной инфраструктуре, что в соответствии с Федеральным законом от 26 июля 2017 г. №187 «О критической информационной инфраструктуре» подразумевает ряд мероприятий. Создание и функционирование постоянных комиссий по категорированию, категорирование и основных средств, переписка и взаимодействие с уполномоченными органами государственной власти (Министерство энергетики РФ, ФСБ РФ, ФСТЭК), оценка угроз, подготовка модели и т.д.
4. Защита персональных данных. Вопросы защиты персональных данных регулируются Федеральным законом от 27 июля 2006 г. №152 «О персональных данных».
5. Защита коммерческой информации. Обеспечивается, согласно Федеральному закону от 29 июля 2004 г. №98 «О коммерческой тайне».
6. Защита ИТ инфраструктуры, включая постоянную оценку защищенности, антивирусную политику, реализацию рекомендаций НЦКИ, наличие обнов-

лений и т. д. Здесь важным является соответствие рекомендациям Федерального стандарта ГОСТ Р ИСО/МЭК 27001–2021 «Информационные технологии. Методы и средства обеспечения информационной безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования».

По причине того, что многие документы в области информационной безопасности должны быть разработаны и утверждены в соответствии с требованиями федеральных законов и стандартов, актуальным вопросом остается автоматизация работы специалистов по разработке документов.

В таких условиях возникает практический вопрос, как осуществлять хранение информации, ее обмен, накопление статистики, обработку и обеспечение доступности для сотрудников нефтесервисных предприятий в перечисленных информационных блоках. Какие технологии и инструменты необходимо применять, чтобы обеспечить надежную сохранность информации, ее систематизацию и передачу, и развитие в условиях текучести персонала.

Адаптации разработанной интеллектуальной системы к деятельности специалистов ИБ на нефтесервисных предприятиях

Проведенный анализ потребностей нефтесервисных предприятий отразил важные аспекты в работе специалистов с нормативными документами в области информационной безопасности. Подготовленная база данных разработанной ЭИАС включает указанные нормативные акты и позволяет осуществлять навигационные и аналитические работы в рассматриваемой области, однако, согласно поставленным задачам, отсутствует решение вопроса автоматизации подготовки документов.

Для этого требуется включить в структуру разработанной ЭИАС дополнительный модуль автоматизированного составления документов. С его помощью эксперты смогут формировать шаблонные формы в соответствии с законодательством РФ для последующей автоматизированной обработки и сохранения полученных документов пользователями ЭИАС.

Алгоритм работы модуля автоматизированного составления документов представляется следующим образом:

1. Пользователь заполняет анкету с данными организации;
2. Введенные данные подставляются на соответствующие места в документе путем алгоритма простой замены;
3. Пользователь получает возможность сохранить комплект подготовленных документов в соответ-

ствии с введенными данными, при условии полного заполнения необходимых полей.

Особенностью реализации является то, что экспертам необходимо заранее подготовить формы шаблонов расширения .doc и обозначить места размещения вводимых пользователем данных.

Данные могут быть статическими, например: название организации, ФИО руководителя и т. д. и динамическими, например временными, указание даты подготовки документа. Кроме того, данные могут быть простыми и комплексными, когда имеется возможность указания нескольких значений, генерирующих таблицы в получаемом документе.

Новая общая структура ЭИАС выглядит следующим образом (см. рис. 4).

Таким образом, важным дополнительным компонентом ЭИАС для адаптации к применению на нефтесервисных предприятиях является модуль автоматизированного составления документов. Новая функциональная возможность позволяет автоматизировано формировать необходимые документы и управлять процессами информационной безопасности на предприятии.

Заключение

В данном исследовании были рассмотрены проблемы обеспечения информационной безопасности на нефтесервисных предприятиях и предложен подход к адаптации разработанной экспертной информационно-аналитической системы для предприятий данного направления.

Проведенный анализ существующих инструментов для работы специалистов по информационной безопасности выявил необходимость использования комплексного подхода, реализованного в разработанной ЭИАС.

Анализ деятельности нефтесервисных предприятий отразил высокий объем конфиденциальной информации и комплекса задач, определяемых спецификой технологических процессов и производств и регламентируемых законодательством Российской Федерации.

Кроме того, в работе определены приоритетные направления деятельности специалистов по информационной безопасности на нефтесервисных предприятиях, такие как обеспечение соответствия требованиям законодательства РФ, защита конфиденциальных данных, разработка локальных нормативных документов и др.

Для адаптации ЭИАС к деятельности нефтесервисных предприятий предложено дополнить ее модулем авто-

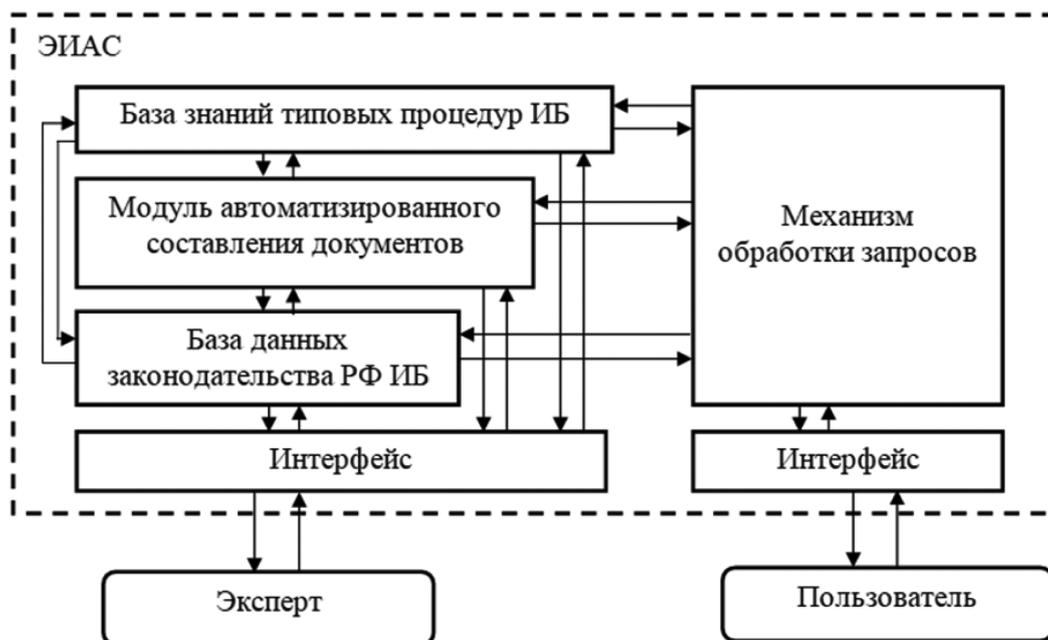


Рис. 4. Измененная структура ЭИАС

матризованного составления документов в соответствии с требованиями законодательства РФ и отраслевой спецификой. Это позволит повысить эффективность работы специалистов по защите информации, минимизировать человеческий фактор в подготовке документов, обеспечить соблюдение нормативных требований.

Таким образом, результаты проведенного исследования демонстрируют актуальность и практическую значимость применения разработанной ЭИАС для нефтесервисных предприятий с целью повышения уровня информационной безопасности и определяют направления разработки аналогичных систем для предприятий любого профиля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Guo H. Correction to: An Ostensive Information Architecture to Enhance Semantic Interoperability for Healthcare Information Systems / H. Guo, M. Scriney, K. Liu // *Information Systems Frontiers*. — 2023. — DOI 10.1007/s10796-023-10387-5. — EDN KVNJFF.
2. The Future of Enterprise Information Systems / A. Sunyaev, T. Dehling, S. Strahinger [et al.] // *Business & Information Systems Engineering*. — 2023. — Vol. 65, No. 6. — P. 731–751. — DOI 10.1007/s12599-023-00839-2. — EDN PWXSGR.
3. Чеканов И.Р. Анализ семантических элементов базы данных экспертной системы для работы с законодательными и нормативными документами в области информационной безопасности / И.Р. Чеканов, А.Е. Краснов // *Проблемы управления безопасностью сложных систем : Материалы XXX международной конференции, Москва, 14 декабря 2022 года / Под общей редакцией А.О. Калашникова, В.В. Кульбы*. — Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2022. — С. 221–225. — DOI 10.25728/icss.2022.68.92.031. — EDN CQWTRY.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667310 Российская Федерация. Фемида: № 2023665111: заявл. 19.07.2023: опублик. 14.08.2023 / И.Р. Чеканов. — EDN THQUVI.
5. Современные тенденции в развитии коммерческих компьютерных справочно-правовых систем / В.В. Филатов, Е.И. Минайченкова, И.В. Положенцева, Н.Ю. Логунова // *Журнал прикладных исследований*. — 2022. — Т. 9, № 6. — С. 831–838. — DOI 10.47576/2712-7516_2022_6_9_831. — EDN BZYIRF.
6. Справочник законодательства РФ в области информационной безопасности (версия 04.04.2024) [Электронный ресурс] // Хабр — 2024. — URL: <https://habr.com/ru/post/432466/> (Дата обращения: 15.04.2024).
7. [В закладки] Базовая карта законодательства РФ по защите информации и как ей пользоваться [Электронный ресурс] // Хабр — 2024. — URL: <https://habr.com/ru/companies/bastion/articles/595215/> (Дата обращения: 15.04.2024).
8. Чеканов И.Р. Автоматизация обеспечения анализа и использования законодательных и нормативных документов в области информационной безопасности / И.Р. Чеканов, А.Е. Краснов // *Современные проблемы автоматизации технологических процессов и производств : сборник научных докладов научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения Игоря Константиновича Петрова, Москва, 11 октября 2023 года*. — Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. — С. 314–320. — EDN FAXADI.
9. Ушков М.Е. Структура информационной системы поддержки принятия решений оператором АЭС / М.Е. Ушков, В.Л. Бурковский // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. — 2021. — Т. 17, № 6. — С. 8–12. — DOI 10.36622/VSTU.2021.17.6.001. — EDN TCDG00.
10. Смирнов А.В., Левашова Т.В., Пономарев А.В. Поддержка принятия решений на основе человеко-машинного коллективного интеллекта: современное состояние и концептуальная модель. *Информационно-управляющие системы*. 2020. № 2, с. 60–70. doi:10.31799/1684-8853-2020-2-60-70

11. Сайгаткина С. Вход в Зазеркалье через потолок / С. Сайгаткина // Энергетическая политика. — 2022. — № 11(177). — С. 16–29. — DOI 10.46920/2409–5516_2022_11177_16. — EDN AIZMKK.
12. Давиденко Л.М. Интеллектуальные технологии в практике нефтегазового сектора / Л.М. Давиденко // E-Management. — 2020. — Т. 3, № 4. — С. 4–12. — DOI 10.26425/2658–3445-2020-3-4-4–12. — EDN GTJMHС.
13. Нефтесервисные услуги: структура отрасли / [Электронный ресурс] // Атлас инвестиций российско-китайского энергетического сотрудничества 2021: [сайт]. — URL: <https://rcebf.com/atlas/ru/oil-gas-industry-russia/oilfield-services.html> (дата обращения: 14.05.2024).
14. Шемякин С.Н. Критическая информационная инфраструктура / С.Н. Шемякин, А.М. Гельфанд, Г.А. Орлов // Наука и инновации — современные концепции : Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума, Москва, 17 января 2020 года / Отв. ред. Хисматуллин Д.Р. Том 1. — Москва: Инфинити, 2020. — С. 114–118. — EDN IRYHVD.
15. Пестракова К.А. объекты критической информационной инфраструктуры / К.А. Пестракова, И.А. Бельченко // Информационная безопасность и защита персональных данных. Проблемы и пути их решения: Материалы XII Межрегиональной научно-практической конференции, Брянск, 30 апреля 2020 года / Под редакцией О.М. Голембиовской, М.Ю. Рытова. — Брянск: Брянский государственный технический университет, 2020. — С. 120–124. — EDN RLDBCY.

© Краснов Андрей Евгеньевич (krasnovmgutu@yandex.net); Чеканов Иван Романович (cartmen98@yandex.ru);
Лысцев Константин Сергеевич (Konstantin.Lystsev@bk.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНИК АНСАМБЛИРОВАНИЯ В МАШИННОМ ОБУЧЕНИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КЛАССИФИКАЦИИ

REVIEW ON MODERN ENSEMBLE TECHNIQUES IN MACHINE LEARNING TO IMPROVE THE QUALITY OF CLASSIFICATION

E. Kubrakova

Summary. The article examines the features of using ensemble techniques in machine learning to improve the quality of classification. The main scientific and practical studies on software implementation, construction of models and algorithms of ensembling for use in various fields are highlighted.

Relevance. Data mining, used in machine learning, often faces various tasks, among which one of the key ones is the implementation of classification. It involves dividing the data into certain categories according to predefined classes. The ensemble method usually uses a combination of several classifiers. This is done to improve the results compared to the output data provided by each classifier individually. The key idea is that by combining responses in a variety of ways, individual errors can be eliminated, thereby achieving a higher overall quality of the solution within the ensemble.

The purpose of the article is to highlight the main aspects of the application of ensemble techniques in machine learning to improve the quality of classification.

The result of the research is the study of scientific, theoretical, practical provisions, the identification of the main approaches to the construction of ensembles of algorithms. In conclusion, the author's conclusions are given.

Keywords: ensemble, algorithm, classification task, boosting, bagging, stacking.

Кубракова Екатерина Александровна

Аспирант, Московский физико-технический институт
(Национальный исследовательский университет)
ekubrakova@ya.ru

Аннотация. В статье исследованы особенности использования техник ансамблирования в машинном обучении для повышения качества классификации. Выделены основные научно-практические исследования по программной реализации, построению моделей и алгоритмов ансамблирования для использования в различных сферах.

Актуальность. Интеллектуальный анализ данных, применяемый в машинном обучении, часто сталкивается с различными задачами, среди которых одной из ключевых является выполнение классификации. Она подразумевает разделение данных на определенные категории в соответствии с заранее установленными классами. В методе ансамблирования обычно применяют комбинацию нескольких классификаторов. Это делается для того, чтобы улучшить результаты по сравнению с выходными данными, которые дает каждый классификатор по отдельности. Ключевая идея заключается в том, что путем разнообразного объединения ответов можно устранить индивидуальные ошибки, тем самым достигая более высокого общего качества решения в рамках ансамбля.

Целью статьи является выделение основных аспектов применения техник ансамблирования в машинном обучении для повышения качества классификации.

Результатом исследования является изучение научно-теоретических, практических положений, выделение основных подходов к построению ансамблей алгоритмов. В заключение даны авторские выводы.

Ключевые слова: ансамбль, алгоритм, классификация, задача, бустинг, бэггинг, стэкинг.

Введение

В современной практике часто используется методика ансамблирования (далее МА) алгоритмов машинного обучения (далее МО) для решения различных задач. Этот подход включает в себя объединение нескольких простых классификаторов (далее ПК), также называемых базовыми, для улучшения качества классификационных решений за счет взаимной компенсации их ошибок. Различные способы комбинирования ПК позволяют достичь более высокой точности в решении задач классификации (далее ЗК) [1, 2].

Актуальность

Эффективность классификации данных может значительно улучшиться с использованием МА в МО. Такой подход включает в себя комбинирование различных ПК для того, чтобы минимизировать их отдельные ошибки и усилить общую эффективность рабочей системы. Каждая МА имеет свои уникальные сильные и слабые стороны, но в целом, системы, построенные на ансамблях, часто демонстрируют лучшие результаты по сравнению с использованием ПК, особенно в плане точности и надежности. Алгоритмы МО, объединенные в ансамбли, используются во многих сферах, включая анализ финан-

сов, биоинформатику, обработку естественного языка и распознавание образов, благодаря своей высокой надежности [3, 4].

Целью статьи является обзор основных современных подходов к созданию ансамблей в МО и выделение важных аспектов их применения для повышения качества классификации.

Основными задачами исследования являются:

1. Выделение особенностей построения процесса ансамблирования с точки зрения различных авторов.
2. Выделение подходов к построению ансамблей алгоритмов.
3. Обоснование значимости применения МА по сравнению с использованием ПК.

Материалы и методы исследования

Основаны на анализе научно-практических данных, обобщении, синтезе мнений и показателей, описании математического аппарата алгоритмов МО, графической интерпретации результатов.

Результаты исследования

В конце 70-х Ю.И. Журавлёв предложил алгебраический подход (далее АП) для решения задач распознавания и ЗК. Основная идея заключалась в том, что алгоритм, который не ошибается при проверке выборки, должен быть разработан как алгебраическая формула, использующая эвристические последовательности. Для операторов распознавания были определены такие операции, как сложение, умножение на константу и умножение, аналогичное матричному, где каждое действие выполнялось поэлементно. Эти математические операции, применяемые при установленных правилах решения, влияли на результаты работы алгоритмов вычисления оценок (далее АВО). В теории распознавания было установлено, что можно создавать эффективные АВО, используя строго АП, что стало ключевым достижением в области поиска возможностей распознавания и классификации. В частности, для модели с кусочно-линейными функциями было показано, что существует необходимость формулировки и четкого описания действенного полиномиального алгоритма, который оперирует на основе неидеальных АВО. Множество всех полиномов степени не выше k над алгоритмами некоторой модели было названо алгебраическим замыканием k -й степени этой модели (при $k=1$ — линейным замыканием) [5, 6].

В своих исследованиях, К.В. Рудаков разработал теорию, охватывающую локальные и универсальные ограничения, используя АП. Это позволило ему сформировать язык для анализа и описания задач, связанных

с трансформацией информации, опираясь на начальные «слабые» позиции [7].

МА или английский термин «ensemble learning» представляет собой методику создания АВО, включающего в себя множество алгоритмов МО. Такой составной АВО обозначается как ансамбль или Multiple Classifier System. В случаях, когда речь идет о классификации, самый базовый тип ансамбля — это так называемый комитет большинства (рисунок 1).

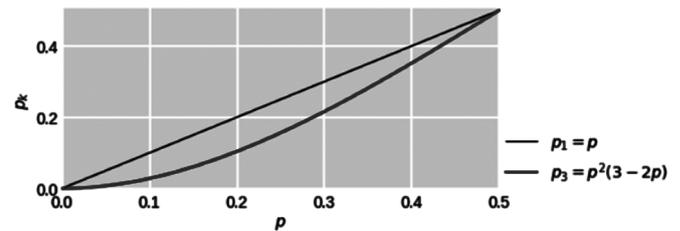


Рис. 1. Графическая интерпретация вероятности ошибок базового типа ансамбля [8]

Формализованное описание построения классифицирующих АВО при помощи МА представлено в работах некоторых авторов, которые занимались изучением конечного множества системных состояний $\{z_1, \dots, z_l\} \in (1)$. Было выявлено, что они зависимы от внутренних и внешних модификаций, что подвергает их трансформации в дискретные моменты [9, 10, 11].

Клюева И.А. отмечает, что в области анализа данных успешность применения МА обусловлена рядом ключевых аспектов.

1. Процесс решения ЗК происходит за счет создания обширного числа гипотез. Целью является поиск «наилучшего» из возможных вариантов, что позволяет более точно описывать взаимосвязи в данных.
2. Классификационные АВО часто пользуются методикой нахождения локальных экстремумов, когда цель поиска — найти экстремум функции. Вариативность в выборках данных, использованных для построения ПК в ансамблях моделей, способствует увеличению шансов на обнаружение глобально оптимальных решений, поскольку исследование проводится с различных стартовых позиций [12, с.77–78].

Для того чтобы улучшить объективность при принятии классификационных решений, важно достичь баланса случайных выводов различных ПК внутри ансамбля. Эффективность применения МА $\frac{b_w}{Z} \rightarrow V(2)$ прямо коррелирует с разнообразием и качеством ПК, включенных в ансамбль.

Козлов Д.А. в своем исследовании [13] предлагает применение АВО для МА, с несколькими из них, для МО

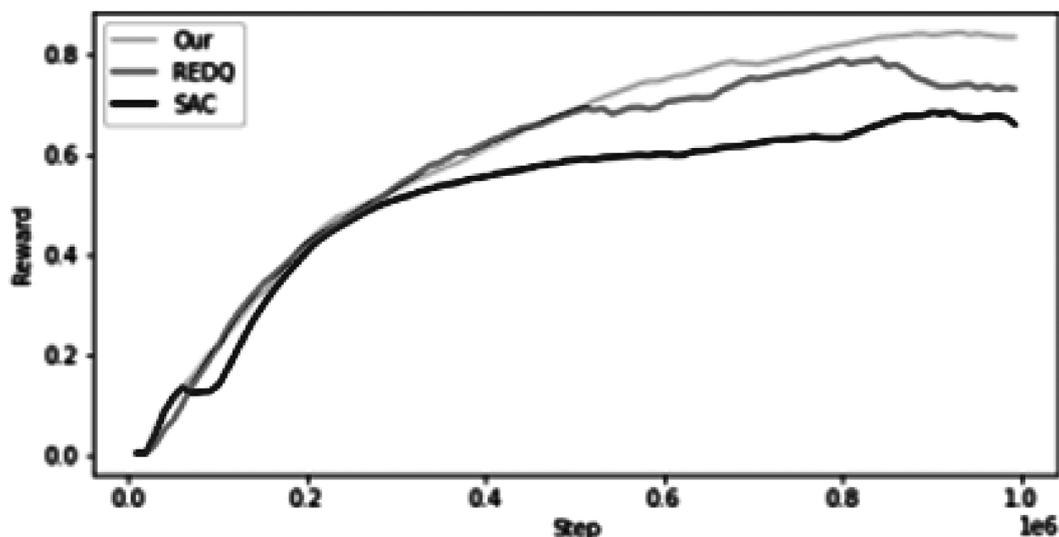


Рис. 2. Результат исследования Козлова Д.А. Козлов Д.А. [13]

с подкреплением. Было практически доказано, что данный способ является более эффективным для работы, чем использование каждого алгоритма в отдельности. В области МО обучение с подкреплением представляет собой одно из наиболее перспективных направлений. Однако, столкнувшись со сложными ЗК, которые включают множество подзадач, возникает проблема их обобщения. Для решения данной проблемы предлагается использовать МА различных алгоритмов, что может улучшить обобщение и эффективность работы. В частности, результат ансамбля определяется АВО, выбранным с помощью DQN. При этом использование разнообразных АВО в ансамбле и в разном количестве открывает новые возможности для оптимизации процесса МО (рисунок 2).

Воронцов К.В., Кашницкий Ю.С., Игнатов Д.И. и др. рассматривали подходы к построению ансамблей алгоритмов, наиболее популярными из которых являются методы бэггинга (bagging, bootstrap aggregating), бустинга (boosting) и стекинга (stacked generalization, stacking) [14, 15, 16, 17].

Бустинг в ЗК

Метод бустинга (далее МБ) представляет собой способ, где АВО объединяются в ансамбль пошагово, причём каждый новый интегрируется для оптимизации ошибок, выявленных на данной стадии, используя так называемый «жадный» принцип. Среди широко применяемых способов МБ выделяются AdaBoost, или адаптивный бустинг, и градиентный бустинг. Особенно высокую эффективность показывает XGBoost, который базируется на использовании решающих деревьев в рамках градиентной МБ. Множество исследований показали, что МБ, применяемый к решающим деревьям, является чрезвычайно эффективным для улучшения точности классификации. Примечательно, что с увеличением числа эле-

ментов в композиции, ошибка на независимой тестовой выборке продолжала снижаться, достигая в некоторых случаях почти нулевого уровня. Даже после того, как обучающая выборка была классифицирована без ошибок, качество результатов на тестовой выборке продолжало совершенствоваться [18–21].

Бэггинг в ЗК

В способе бэггинга (далее СБ) используются однородные базовые АВО для создания ансамбля. Они обучаются параллельно, каждый на своей случайной подвыборке, которая формируется с повторениями из исходной обучающей выборки. Такой подход является частью метода бутстрапа. Концепция бэггинга также присутствует в RF-алгоритме [22].

Эта техника включает в себя создание нескольких ПК, каждый из которых обучен на уникальных частях набора данных. Все они следуют одному и тому же АВО, но применяют его к разным подмножествам сведений. Чтобы сформировать окончательный прогноз, результаты от каждого классификатора собираются вместе, используя методы среднего значения или голосования [23].

Вопрос о составе ансамбля классификаторов при применении СБ выделяется как чрезвычайно сложный. Исследования часто фокусируются на применении классификаторов, которые не обладают высокой точностью. Рекомендации по созданию обучающих подвыборок советуют избегать стабильных вариантов, чтобы повысить «различность» между классификаторами. Также рассматривается возможность сочетания точных и относительно слабых классифицирующих АВО в рамках одного ансамбля, хотя конкретные правила для формирования операций вычисления остаются в большинстве случаев неопределёнными [24].

В ряде статей рассмотрены различные подходы к комбинированию алгоритмов в ансамблях, среди которых присутствуют методы с различающимися качественными характеристиками [25–28]. Особое внимание уделено техникам стекинга, блендинга и многоуровневого стекинга, показывающим высокую эффективность [30–32].

Метод стекинга, известный также как стековое обобщение, предполагает создание ансамбля из нескольких традиционных моделей для улучшения прогнозных способностей через обучение мета-алгоритма. Этот подход часто используется в ситуациях, когда не ясно, какая технология МО лучше всего справится с данными, особенно если они содержат шум или пропуски, что обычно встречается в прикладных задачах. В основе стекинга лежит идея совместного использования нескольких отдельных схем для создания более мощного и надежного предсказательного инструмента.

Стекинг при этом предполагает применение мета-алгоритма, который обучается на основе результатов различных базовых АВО, используемых как метахарактеристики. При этом ансамбли, обладающие большей гибкостью благодаря своему разнообразию параметров, часто превосходят одиночные АВО. Особенно эффективными они оказываются, когда ПК отличаются друг от друга, что улучшает точность и результаты МА. Одним из недостатков МА является то, что они требуют больше вычислительных ресурсов для создания решения по сравнению с базовыми АВО [33, 34, 35].

Модель реализации методики стекинг представлен на рисунке 3 (рисунок 3).

В методе блендинга, который является частью техники стекинга, используется только одно разделение обучающей выборки на части. На первом сегменте данных происходит обучение базовых ЗК. После этого они тестируются на втором сегменте и на отдельной тестовой выборке, где их предсказания становятся новыми мета-атрибутами. Используя полученные последователь-

ности со второй части обучающей выборки, создается метаклассификатор. При создании мета-классификатора используются элементы из тренировочного набора данных [37, 38]. Хотя блендинг и имеет преимущества в виде низкой вычислительной нагрузки и малого риска переобучения, к его недостаткам относятся сложности в настройке параметров разбиения выборки и невозможность использовать все данные эффективно.

Клюева И.А. предлагает использовать МА, такие как МБ и СБ, при разработке основных классификаторов для стекинга. Эти АВО отличаются друг от друга по своему подходу к систематике сведений и предоставляют основу для создания разнообразных типологий МО [11].

Среди ключевых преимуществ новых подходов к многоклассовой классификации по сравнению с существующими схемами автор выделяет несколько аспектов:

- Применение нечеткой логики для оценки принадлежности объектов к определенным классам в процессе вычисления метахарактеристик;
- Использование кросс-валидации для оценивания эффективности ПК;
- В отличие от метода стекинга, в этих новых методах для оценки метахарактеристик тестовых объектов применяется схема усреднения ответов ПК, которые были обучены на аналогичном объеме данных, как и для создания метахарактеристик обучающей выборки.

Разработанные методы, в отличие от блендинга, позволяют максимально эффективно задействовать всю обучающую выборку в процессе формирования метаклассификатора. В момент обучения метаклассификатора применяются не только исходные характеристики, но и метахарактеристики, которые формируются на основе данных, полученных от ПК.

Обсуждение

В области МО основная задача состоит в разработке оптимальной модели, способной точно прогнозировать



Рис. 3. Модель реализации методики стекинг

требуемые исходы. Внедрение МА предлагает альтернативный подход, где вместо полагания на одну, используется серия моделей. Затем происходит их интеграция, при помощи чего создается усовершенствованная конечная схема, которая является результатом усреднения предсказаний отдельных значений.

Представленные в обзоре исследования практически обосновывают, что ансамбль алгоритмов демонстрирует большую точность по сравнению с отдельными классификаторами, в особенности при небольших размерах обучающей выборки.

Исследования показывают, что новые методы и АВО представляют значительный интерес для применения в области бинарной и многоклассовой классификации. Это позволяет успешно справляться даже со сложными типами операций, такими как несбалансированное распределение классов в данных и необходимость эффективной настройки параметров в короткие сроки.

Эксперименты с использованием техник ансамблирования в решении задачи классификации сентимента новостных заголовков на русском языке [39] выявили

высокую эффективность применения МА даже по сравнению с нейросетевыми решениями в условиях ограниченных и несбалансированных наборов данных, что делает использование данной техники целесообразным и перспективным для решения разнообразных ЗК.

Заключение

Современные алгоритмы находят широкое применение в различных сферах, актуальных для сегодняшнего анализа данных. Они используются для оценки кредитоспособности, идентификации фальсификаций в транзакциях, прогнозирования ухода клиентов, а также в медицинской диагностике. Кроме того, эти технологии эффективны при фильтрации спама, классификации документов и других задачах.

Таким образом, внедрение МА и адаптация существующих АВО бинарной классификации для работы с ЗК, где необходимо различать несколько классов, а также использование техник кластеризации, представляют собой перспективные направления для дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашницкий Ю. История развития ансамблевых методов классификации в машинном обучении [Электронный ресурс] / Ю. Кашницкий // Elsevier B.V. 2015. Режим доступа: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3933.2007>.
2. Michael Kearns, V. Umesh Vazirani. An Introduction to Computational Learning Theory, MA : The MIT Press, 1994.
3. Костров Б.В. Ансамблевые методы в задаче многоклассовой SVM-классификации / Б.В. Костров, А.И. Баранчиков, И.А. Ключева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021, Т. 10, № 2(54), С. 105–108. — DOI 10.46548/21vek-2021-1054-0019.
4. Zelenchuk N.A., and Alsova O.K. A software implementation and research of ensemble algorithms for solving the different types of data classification problem, International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON–2022): proc., Novosibirsk-Yekaterinburg. 2022, 11–13 Nov., IEEE, pp. 1610–1613.
5. Журавлев Ю.И., Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации. Проблемы кибернетики. М.: Наука, 1978. Вып.33. С.5–68.
6. Журавлев Ю.И. Корректные алгоритмы над множествами не корректных (эвристических) алгоритмов. I. // Кибернетика. 1977, N4, С. 5–17, II. Кибернетика, N6, 1977, III. // Кибернетика. 1978. N2. С. 35–43.
7. Рудаков К.В. Об алгебраической теории универсальных и локальных ограничений для задач классификации // Распознавание, классификация, прогноз: Матем. методы и их применение. М.: Наука, 1988. Вып.1, С.176–200.
8. Ансамбли в машинном обучении // URL: <https://alexanderdyakonov.wordpress.com/2019/04/19/more-6535> (дата обращения: 13.05.2024).
9. Семенов В.В., Лебедев И.С., Сухопаров М.Е. Идентификация состояния отдельных элементов киберфизических систем на основе внешних поведенческих характеристик // Прикладная информатика. 2018, Т. 13, № 5(77), С. 72–83.
10. Сухопаров М.Е., Лебедев И.С. Идентификация состояния информационной безопасности устройств интернета вещей в информационно-телекоммуникационных системах // Системы управления, связи и безопасности. 2020, № 3. С. 252–268. doi: 10.24411/2410–9916-2020-10310.
11. Sukhoparov M.E., Lebedev I.S., Garanin A.V. Application of classifier sequences in the task of state analysis of Internet of Things devices // Informatics, telecommunications, and Management = Computing, Telecommunications and Control. 2020, Vol. 13, No. 3, pp. 44–54. doi: 10.18721/JCSTCS.13304
12. Ключева И.А. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АНСАМБЛИРОВАНИЯ И ПОИСКА ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ КЛАССИФИКАТОРОВ: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.17. Рязань, 2021, 173.
13. Метод ансамблирования алгоритмов обучения с подкреплением на основе иерархичности / Д.А. Козлов // Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2023): сб. тр. по материалам IX Междунар. конф. и молодеж. шк. (г. Самара, 17–23 апр. 2023 г.): в 6 т. / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т им. С.П. Королева (Самар. ун-т), Ин-т систем обраб. изобр. РАН — Фил. Федер. науч.-исслед. центра «Кристаллография и фотоника» Рос. акад. наук. — Самара: Изд-во Самар. ун-та, 2023Т. 4: Искусственный интеллект / под. ред. А.В. Никонорова. 2023, С. 040602.
14. Кашницкий Ю.С. Ансамблевый метод машинного обучения, основанный на рекомендации классификаторов / Ю.С. Кашницкий, Д.И. Игнатов // Интеллектуальные системы. Теория и приложения. 2015, Т. 19, № 4, С. 1–32.

15. Воронцов К.В. Комбинаторный подход к оценке качества обучаемых алгоритмов / К.В. Воронцов // Математические вопросы кибернетики / Под ред. О.Б. Лупанов. — М.: Физматлит. 2004, Т. 13, С. 5–36.
16. Erfani S.M. High-dimensional and large-scale anomaly detection using a linear one-class SVM with deep learning / S.M. Erfani, S. Rajasegarar, S. Karunasekera, C. Leckie // Pattern Recognition. 2016, Vol. 58, P.121–134.
17. Huang P.X. Individual feature selection in each One-versus-One classifier improves multi-class SVM performance / P.X. Huang, R.B. Fisher // Reference Source. 2014, P. 98–103.
18. Freund Y., Schapire R.E. Experiments with a new boosting algorithm // International Conference on Machine Learning. 1996, Pp. 148–156. <http://citeseer.ist.psu.edu/freund96experiments.html>.
19. Зинин С.Н. Использование алгоритмов бустинга в задачах классификации разнородных ДАННЫХ / С.Н. Зинин // Решетневские чтения. 2010, Т. 2, С. 495.
20. Чорный Д.А. Сравнительный анализ алгоритмов градиентного бустинга для задач классификации / Д.А. Чорный // Обработка информации и математическое моделирование: Материалы Российской научно-технической конференции, Новосибирск, 26–27 апреля 2017 года. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики. 2017, С. 208–215.
21. Boosting the margin: a new explanation for the effectiveness of voting methods / R.E. Schapire, Y. Freund, W.S. Lee, P. Bartlett // Annals of Statistics. 1998, Vol. 26, no. 5, Pp. 1651–1686. <http://citeseer.ist.psu.edu/article/schapire98boosting.html>.
22. Гушин А.Е. Методы ансамблирования обучающихся алгоритмов [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/5/56/Guschin2015Stacking.pdf> (дата обращения 07.11.2020).
23. Синяев И.Ф. Исследование bagging подхода при построении ансамбля моделей для повышения точности классификации / И.Ф. Синяев, О.В. Шестернева // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2014, Т. 1, № 10, С. 300.
24. Воронцов К.В. Лекции по алгоритмическим композициям [Электронный ресурс]. URL: <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/0/0d/Voron-ML-Compositions.pdf> (дата обращения: 03.12.2020).
25. Zhou Z.-H. Ensemble Methods: Foundations and Algorithms. New York: CRC Press, 2012. 222 p.
26. Yu Y., Zhou Z.-H., Ting K.M. Cocktail ensemble for regression // Proc. 7th IEEE International Conference on Data Mining (ICDM). 2007, P. 721–726. doi: 10.1109/ICDM.2007.60
27. Zhou Z.-H., Feng J. Deep Forest // National Science Review. 2019. V. 6. N 1. P. 74–86. doi: 10.1093/nsr/nwy108.
28. Pedersen T.A simple approach to building ensembles of naive bayesian classifiers for word sense disambiguation // NAACL 2000: Proc. of the 1st North American chapter of the Association for Computational Linguistics Conference. 2000, P. 63–69.
29. Erfani S.M. High-dimensional and large-scale anomaly detection using a linear one-class SVM with deep learning / S.M. Erfani, S. Rajasegarar, S. Karunasekera, C. Leckie // Pattern Recognition. 2016, Vol. 58, P.121–134.
30. Полякова А.С.: Коллективные методы принятия решения на основе нечеткой логики, 2019 г. Красноярск.
31. Евсеева С.А. Исследование эффективности мета-алгоритмов, сформированных методом стекинга в задачах классификации / С.А. Евсеева, Д.В. Болдырев, Л.В. Липинский // Решетневские чтения : Материалы XXIV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева: в 2 частях, Красноярск, 10–13 ноября 2020 года. Том Часть 2. — Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2020, С. 169–171.
32. Fomin V., Duke V., Aleksandrov I. The use of machine learning methods for the determination of the fuel consumption of a gas turbine frigate // Marine intellectual technology. 2019. Vol. 1 (43). Pp. 156–160.
33. Kaftannikov I.L., Parasich A.V. Problems of training set's formation in machine learning tasks. Bulletin of the South Ural State University. Series Computer Technology, Automatic Control, Radio Electronics, 2016, vol. 16, no. 3, pp. 15–24. doi: 10.14529/ctcr160302
34. Klyueva I. Development of the SVM classifier by means of the hybrid versions of the particle swarm optimization algorithm based on the GRID SEARCH / L. Demidova, I. Klyueva // Computer modelling and new technologies. 2017, P. 56–63.
35. Klyueva I. Hybrid approach to improving the results of the SVM classification using the random forest algorithm / L. Demidova, I. Klyueva, A. Pylkin // Procedia Computer Science 2019, Vol. 150, P. 455–461.
36. Klyueva I. Improving Quality of the Multiclass SVM Classification Based on the Feature Engineering / I. Klyueva // 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA— 2019). Lipetsk, 2019. P. 491–494.
37. Дьяконов А.Г. Стекинг (Stacking) и блендинг (Blending) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://dyakonov.org/2017/03/> (дата обращения 08.11.2023).
38. Ключева И.А. Ансамблевые методы в задаче многоклассовой SVM-классификации / Б.В. Костров, А.И. Баранчиков, И.А. Ключева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2021, Т. 10, № 2 (54), С. 105–108.
39. Кубракова Е.А. Классификатор новостных заголовков. // [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://github.com/eakubrakova/Financial_news_classification (дата обращения 10.07.2024).

ДОМЕННАЯ АДАПТАЦИЯ ДЕТЕКТОРОВ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИ УЧИТЕЛЯ С ПОДАНСАМБЛЯМИ

DOMAIN ADAPTATION OF OBJECT DETECTORS USING THE TEACHER MODEL WITH SUB ENSEMBLES

A. Medvedev

Summary. Domain adaptation for object detection remains a critical issue in computer vision, especially when models trained in the same domain are deployed to significantly different target domains. Traditional approaches, such as fine-tuning using labeled target domain data or using uniform teacher-student designs, often fail to cope with the complexity and variability of real-world scenarios. This paper presents a novel Sub-Ensemble Teacher (SET) approach that leverages the strengths of multiple teacher models to provide robust and comprehensive guidance to the student model for domain adaptation. The SET framework involves training multiple teacher models on different subsets of domain input data, each representing different aspects of the domain. These sub-ensembles generate a rich set of pseudo-labels for the unlabeled target domain data, which are then used to train the student model. This ensemble method improves the robustness and generalizability of the student model by efficiently approximating Bayesian inference, accounting for model uncertainty, and reducing label noise.

Experimental results on benchmark datasets show that the SET approach significantly outperforms traditional single-supervised models on cross-domain object detection tasks. The subensemble technique not only improves detection accuracy, but also provides a more robust estimate of uncertainty, making it a powerful tool for adapting object detectors to diverse and complex environments.

Keywords: object detection, domain adaptation, computer vision, deep learning, one-stage object detectors, sub-ensembles, object localization, uncertainty estimation.

Медведев Анатолий Андреевич

Аспирант, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»
medvedev.workspace@gmail.com

Аннотация. Адаптация доменов в задачах детекции объектов остается важной проблемой в области компьютерного зрения, особенно когда модели, обученные на одних наборах данных, применяются в существенно отличающихся целевых доменах. Традиционные методы, такие как тонкая настройка с использованием размеченных данных целевого домена или подходы «учитель-ученик», часто не справляются со сложностью и изменчивостью реальных условий. В данной статье предложен новый метод Sub-Ensemble Teacher (SET), который использует преимущества нескольких моделей учителей для обеспечения надежного и всестороннего руководства при адаптации модели ученика. Структура SET включает обучение нескольких моделей учителей на разных подмножествах входных данных, каждая из которых охватывает различные аспекты предметной области. Эти подансамбли создают богатый набор псевдометок для неразмеченных данных целевого домена, которые затем используются для обучения модели ученика. Этот подход увеличивает надежность и обобщаемость модели ученика за счет эффективной аппроксимации байесовского вывода, учета неопределенности модели и уменьшения шума меток. Экспериментальные результаты на эталонных наборах данных показывают, что метод SET превосходит традиционные модели с одним учителем в задачах кроссдоменной детекции объектов. Подход с подансамблями не только повышает точность обнаружения, но и обеспечивает более надежную оценку неопределенности, что делает его мощным инструментом для адаптации детекторов объектов к разнообразным и сложным условиям.

Ключевые слова: детекция объектов, доменная адаптация, компьютерное зрение, глубокое обучение, одноступенчатые детекторы объектов, подансамбли, локализация объектов, оценка неопределенности.

Быстрые успехи в области глубокого обучения значительно расширили возможности систем обнаружения объектов, позволив использовать их в самых разных сферах: от автономного вождения до медицинской визуализации. Обнаружение объектов, являясь фундаментальной задачей компьютерного зрения, включает в себя идентификацию и локализацию объектов на изображении. Несмотря на значительный прогресс, остается одна важная проблема: способность этих систем хорошо обобщать данные между доменами. Такие изменения происходят, когда распределение данных в целевом домене отличается от распределения в исходном домене, что часто приводит к значительному снижению эффективности обнаружения. Методы адаптации домена нацелены на преодоление этого разрыва, пере-

нося знания из размеченного исходного домена в неразмеченный или слабо размеченный целевой домен.

Адаптация домена имеет критическое значение для обнаружения объектов, поскольку реальные сценарии часто значительно отличаются от условий, в которых модели изначально обучались. Традиционные методы адаптации домена для обнаружения объектов обычно включают дообучение моделей с использованием небольшого количества размеченных данных целевого домена [1, 2] или использование единой структуры «учитель-ученик» [3]. Однако эти подходы часто испытывают трудности с обобщением данных в значительной степени отличающихся доменах из-за их ограниченной способности охватывать весь спектр вариаций домена

и являются непрактичными для многих реальных приложений, где размеченные данные в целевом домене недостаточны или отсутствуют. Последние достижения в области методов несупервизируемой адаптации домена (UDA) направлены на преодоление этого ограничения за счет использования размеченных данных из исходного домена и неразмеченных данных из целевого домена [4]. Эти методы обычно включают в себя сопоставление распределений признаков [5] между доменами для минимизации сдвига домена и улучшения производительности обнаружения в целевом домене.

Для решения этих проблем мы предлагаем новую структуру Sub-Ensemble Teacher (SET) для адаптации домена детекторов объектов. Подход SET использует несколько моделей-учителей, которые генерируют разнообразный набор псевдо-меток для неразмеченных данных целевого домена. Ключевое новшество структуры SET заключается в использовании подансамблевых моделей для аппроксимации байесовского вывода. Этот ансамблевый метод повышает надежность и обобщающие способности модели-ученика за счет снижения шума в метках и улучшения качества псевдо-меток.

Вкратце, основные вклады данной работы заключаются в следующем:

- Мы предлагаем новый подход Subensemble Teacher, который использует несколько моделей-учителей, каждая из которых обучена на разных подмножествах данных исходного домена, для генерации надежных и полных псевдо-меток для целевого домена. Эта структура устраняет ограничения традиционных моделей с одним учителем, повышая надежность и обобщаемость.
- Подход SET эффективно аппроксимирует байесовский вывод путем агрегирования предсказаний от ансамбля подмоделей. Этот метод учитывает неопределенность модели, предоставляя вероятностную меру уверенности в предсказаниях, что критически важно для надежной адаптации домена.
- Путем усреднения псевдо-меток, полученных от различных подмоделей, структура SET снижает влияние шумных меток. Это приводит к более чистым и точным псевдо-меткам, улучшая процесс обучения и повышая эффективность адаптации модели-ученика.

Адаптация домена для обнаружения объектов привлекла значительное внимание в последние годы, что привело к разработке различных инновационных подходов. В этом разделе представлен обзор значимых связанных работ, классифицированных по нескольким ключевым методологиям: выравнивание признаков, соревновательное обучение, самообучение, несупервизируемая адаптация домена, а также ансамблевые и подансамблевые модели для обнаружения объектов.

Выравнивание признаков. Методы выравнивания признаков стремятся уменьшить несоответствие доменов путем согласования распределения признаков в исходном и целевом доменах. Одним из инновационных подходов является Domain Adversarial Neural Network (DANN), предложенная Ганиным и др. [6], которая вводит слой инверсии градиента для стимулирования модели к изучению доменно-инвариантных признаков. Эта концепция была расширена для обнаружения объектов Ченом и др. [7] в их работе над Domain Adaptive Faster R-CNN, которая выравнивает признаки на уровне изображений и экземпляров с использованием соревновательного обучения. Более современные техники сосредотачиваются на согласовании более высокоуровневых признаков и включении жестких согласованностей. Например, работа Хэ и др. [8, с. 208] вводит подход многоуровневого выравнивания признаков (MLFA), который выравнивает признаки через несколько слоев системы обнаружения объектов, повышая надежность между доменами.

Соревновательное обучение. Соревновательное обучение стало краеугольным камнем в адаптации домена, используя соревновательные сети для минимизации разрыва между доменами. Сайто и др. [9] представили метод сильного и слабого выравнивания распределений (SWDA), который использует комбинацию стратегий сильного и слабого выравнивания для балансирования между выравниванием признаков и производительностью классификации.

Самообучение. Методы самообучения используют псевдо-метки, созданные на основе прогнозов модели в целевом домене, для итеративного улучшения производительности. Хсу и др. [10] представили прогрессивную структуру адаптации домена (PDA), которая поэтапно улучшает псевдо-метки через многостадийный процесс обучения. Этот метод снижает шум в псевдо-метках и улучшает способность модели адаптироваться к целевому домену.

Несупервизированная адаптация домена. Техники несупервизированной адаптации домена особенно ценны, когда размеченные данные в целевом домене недостаточны или отсутствуют. Эти методы используют размеченные данные из исходного домена и неразмеченные данные из целевого домена. Недавние достижения включают ConfMix [11] и DACA [12], которые интегрируют стратегию дополнения данных домена для создания псевдо-меток, повышая надежность методов самообучения.

Ансамблевые модели для обнаружения объектов. Ансамблевые методы объединяют несколько моделей для улучшения надежности и производительности. Ансамбли особенно эффективны в задачах обнаружения

объектов, так как они могут усреднять ошибки отдельных моделей и предоставлять более надежные прогнозы. Ранним примером является работа Ли и др. [13], демонстрирующая эффективность ансамблевых методов в задачах обнаружения объектов. Подансамблевые модели, особый тип ансамблевого подхода, включают обучение нескольких моделей-учителей на разных подмножествах исходных данных домена. Это разнообразие улучшает способность модели обобщать данные между доменами. Структура Sub-Ensemble Teacher (SET), предложенная в данной работе, использует эту концепцию для создания богатого набора псевдо-меток для целевого домена, улучшая производительность адаптации домена.

Концепция использования моделей учитель-ученик становится все более популярной в адаптации предметной области благодаря их способности передавать знания от предварительно обученной модели-учителя к модели-ученику [14]. Структура SET состоит из трех основных компонентов: модели-учителя с подансамблями, модели-ученика и механизма адаптации домена. В этом разделе мы опишем принцип работы и преимущества модели SET, включая соответствующие формулы.

Модель учителя с подансамблями. Несколько подансамблевых моделей обучаются на различных подмножествах исходных данных домена. Эти подмножества спроектированы таким образом, чтобы охватывать широкий спектр вариаций в исходном домене, обеспечивая специализацию каждой модели-учителя на разных аспектах домена. Это разнообразие имеет критическое значение для предоставления всесторонних псевдо-меток, которые отражают различные характеристики целевого домена и помогают модели более эффективно адаптироваться, обучаясь на более широком спектре сценариев и функций.

Модель ученика. Модель ученика первоначально обучается с использованием размеченных данных из исходного домена. Во время фазы адаптации домена она дообучается с использованием псевдо-меток, созданных подансамблевыми моделями-учителями на размеченных данных целевого домена. Псевдо-метки комбинируются из ансамбля для предоставления более сбалансированного и точного сигнального эталона.

Формулы, описывающие взаимодействие моделей в структуре SET, можно представить следующим образом:

1. Пусть D_s и D_t обозначают исходный и целевой домены соответственно.
2. Модели-учителя T_i обучаются на различных подмножествах данных исходного домена D_s : $T_i = f(D_s^i)$ для $i = 1, \dots, N$, где D_s^i является подмножеством D_s , а N — количество подансамблевых моделей.

3. Модель ученика S первоначально обучается на полном наборе данных исходного домена D_s : $S = g(D_s)$.
4. Псевдо-метки для данных целевого домена D_t генерируются путем усреднения прогнозов подансамблевых моделей-учителей: $\hat{y}_t = (1/N) * \sum_{i=1}^N T_i(D_t)$.
5. Модель ученика дообучается с использованием этих псевдо-меток: $S' = h(D_t, \hat{y}_t)$.

Где f , g и h обозначают функции обучения для моделей учителя и ученика соответственно.

Таким образом, структура SET обеспечивает более сбалансированное и точное обучение модели ученика, улучшая адаптацию к целевому домену за счет использования разнообразных и обширных псевдо-меток, полученных от ансамбля моделей-учителей.

Принципы Байеса. Использование подансамблевых моделей в адаптации домена, особенно в контексте обнаружения объектов, предлагает несколько преимуществ на основе байесовских принципов. Ансамблевые методы известны своей способностью уменьшать шум в метках за счет усреднения ошибок отдельных моделей. Подход SET использует это свойство для генерации более чистых и точных псевдо-меток, что критично для эффективной адаптации домена. Байесовский вывод предоставляет вероятностный подход к учету неопределенности модели, а ансамбли можно рассматривать как практическую аппроксимацию байесовских методов. Здесь мы обсудим, как подансамблевые модели соотносятся с байесовскими принципами и какие конкретные преимущества они предлагают в аппроксимации данных:

1. Байесовский вывод включает обновление вероятностной оценки гипотезы по мере появления новых доказательств или информации. Естественным образом он включает неопределенность, рассматривая параметры модели как случайные величины с априорными распределениями. Такой подход обеспечивает всестороннее понимание уверенности модели и неопределенности прогнозов. Подансамблевые модели аппроксимируют байесовский вывод, объединяя предсказания нескольких моделей, каждая из которых представляет отдельную гипотезу о данных. Разнообразие ансамбля позволяет ему захватывать более широкий спектр неопределенностей, аналогично байесовским апостериорным распределениям.
2. Байесовские методы интегрируют все возможные модели, взвешенные по их апостериорным вероятностям, предоставляя определенную степень неопределенности. Усредняя предсказания разных моделей, обученных на различных подмножествах данных, подансамблевые модели имитируют эту интеграцию, предлагая практический

способ оценки неопределенности без вычислительной сложности полного байесовского метода.

3. Подансамблевые модели снижают переобучение, сглаживая смещения и предвзятости отдельных моделей, подобно регуляризирующему эффекту байесовских априорных подходов. Это приводит к более высокой точности и надежности в задачах обнаружения объектов, особенно в различных целевых областях.

В этом разделе мы опишем экспериментальную установку, использованную для оценки подхода Sub-Ensemble Teacher (SET), включая подробности о моделях, наборах данных и метриках оценки.

Для моделей учителя и ученика мы использовали архитектуру YOLOv5 [15], известную своей эффективностью и точностью. YOLOv5, разработанная Ultralytics, является частью семейства моделей You Only Look Once (YOLO), предназначенных для обнаружения объектов в реальном времени. YOLOv5 особенно подходит для наших экспериментов благодаря балансу между скоростью и производительностью, что делает ее идеальной для сценариев с ограниченными вычислительными ресурсами.

Мы обучали и оценивали подход SET, используя набор данных Cityscapes (Рисунок 1), крупномасштабный набор данных, предназначенный для понимания городской сцены. Cityscapes широко используется в исследованиях компьютерного зрения, особенно для таких задач, как семантическая сегментация, сегментация экземпляров и обнаружение объектов. Изображения сделаны при различных погодных условиях (например, солнечно, дождливо, пасмурно) и в разное время суток, что делает этот набор данных сложным для адаптации домена.

На ранних этапах модель ученика, обученная с подансамблевыми учителями, показала более высокую точность в обнаружении объектов, что отражается в более высоких показателях precision и recall. Агрегированные псевдо-метки от нескольких моделей учителей уменьшили влияние шума в метках и повысили устойчивость модели ученика, позволяя ей более эффективно справляться с различными изменениями домена с самого начала. Модель ученика, обученная по методике SET, продемонстрировала более быструю сходимость, достигая более высоких показателей производительности за меньшее количество эпох по сравнению с моделью с одним учителем (Рисунок 2).

Экспериментальные результаты на эталонных наборах данных демонстрируют эффективность подхода SET. По сравнению с традиционными моделями с одним учителем, структура SET достигает более высокой точности

и устойчивости в задачах обнаружения объектов в целевом домене (Таблица 1).

Таблица 1.

Количественные результаты (mAP) для эталона Cityscapes

Метод	Детектор	Бекбоун	mAP
SIGMA [16]	FCOS	VGG-16	53.7
SCAN [17]	FCOS	VGG-16	52.6
EPM [18]	FCOS	ResNet-101	51.2
ConfMix	YOLOv5	CSP-Darknet53	56.2
DACA	YOLOv5	CSP-Darknet53	60.6
SET (Наш)	YOLOv5	CSP-Darknet53	67.3

Улучшения особенно значимы в сценариях с существенными доменными сдвигами, где разнообразие и комплементарные сильные стороны ансамбля играют критическую роль в преодолении доменного разрыва. Основные выводы нашей работы заключаются в следующем:

1. Использование нескольких подмоделей в структуре SET улучшает устойчивость детектора объектов за счет захвата широкого диапазона изменений в исходном домене. Это разнообразие приводит к лучшей обобщаемости в различных целевых доменах, так как каждая подмодель привносит уникальную информацию, которая коллективно улучшает общую производительность.
2. Подход SET аппроксимирует байесовский вывод путем агрегации прогнозов от нескольких подмоделей. Эта аппроксимация эффективно захватывает неопределенность модели и предоставляет вероятностную меру уверенности в прогнозах, что критично для надежной адаптации домена.
3. Подход SET является осуществимым и масштабируемым. Обучение нескольких подмоделей на подмножествах исходных данных домена может быть параллелизовано, а агрегация псевдо-меток может выполняться эффективно. Это делает подход SET подходящим для задач адаптации домена в крупномасштабных и сложных средах.

Несмотря на значительные улучшения в адаптации домена для обнаружения объектов, достигнутые подходом SET, некоторые области требуют дальнейшего изучения. Будущие исследования могут изучить динамические стратегии взвешивания для агрегации псевдо-меток, где веса адаптируются на основе уверенности или производительности каждой подмодели в целевом домене. Оптимизация разнообразия подмоделей путем изучения различных способов разбиения данных исходного домена или путем включения различных архитектур моделей может еще больше улучшить устойчивость и производительность структуры SET.

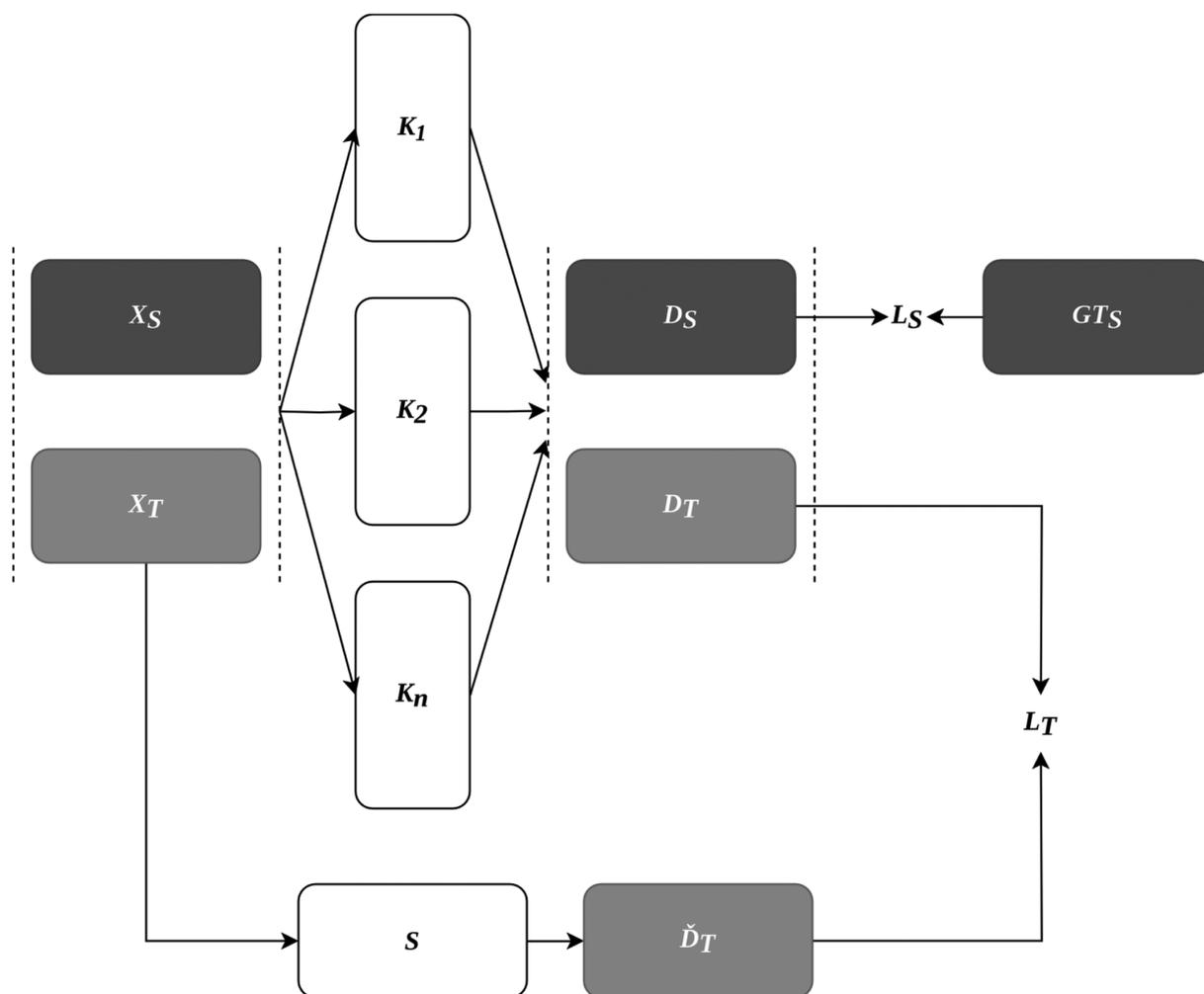


Рис. 1. Обзор предлагаемого подхода. Модель ученика S обучается с использованием псевдо-меток, созданных подансамблевыми моделями учителя K_n на неразмеченных данных целевого домена X_T

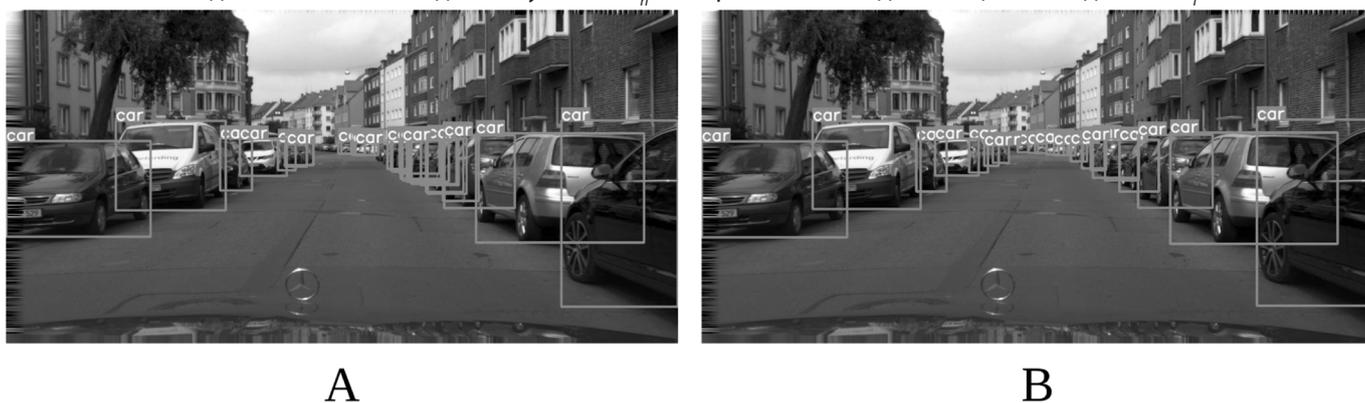


Рис. 2. Сравнение производительности генерации псевдо-меток с одним учителем (А) и учителем с подансамблями (В)

Заключение

Область адаптации домена для обнаружения объектов изобилует разнообразными и инновационными подходами, которые способствуют созданию надежных и адаптируемых моделей. Несмотря на значительный прогресс, остаются нерешенные задачи, такие как не-

хватка размеченных данных целевого домена и сложность реальных условий. Подход Sub-Ensemble Teacher (SET) представляет собой перспективное достижение в этой области. Подансамблевые модели предлагают мощную и практическую аппроксимацию байесовских методов в контексте адаптации домена для обнаружения объектов. Используя сильные стороны нескольких

моделей, они охватывают широкий спектр неопределенностей, снижают переобучение и улучшают обобщаемость. Эти преимущества, основанные на байесовских принципах, делают подансамблевые модели надежным и эффективным инструментом для аппроксимации данных, особенно в сложных и разнообразных доменах.

Применение подхода SET к сценариям реальной адаптации, таким как автономное вождение или медицинская визуализация, может предоставить ценные

данные о его практической эффективности и ограничениях. Сочетание подхода SET с другими передовыми методами адаптации домена, такими как самообучение или метаобучение, может привести к созданию еще более надежных и обобщаемых моделей для обнаружения объектов. В будущих работах можно было бы дальше изучать оптимизацию конфигураций подгрупп и интеграцию более сложных байесовских методов для повышения их эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Li Wanyi, Li Fuyu, Luo Yongkang, Wang Peng Deep Domain Adaptive Object Detection // Conference on Computer Vision, and Pattern Recognition. — 2020.
2. Xingxu Yao, Sicheng Zhao, Pengfei Xu, Jufeng Yang Multi-Source Domain Adaptation for Object Detection // Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2021.
3. Lawrence G. Phillips, David B. Grimes, Yihan Jessie Li Teacher-Student Domain Adaptation for Biosensor Models // 2020 International Conference on Learning Representations. — 2020.
4. Poojan Oza, Vishwanath A. Sindagi, Vibashan VS, Vishal M. Patel Unsupervised Domain Adaptation of Object Detectors: A Survey // ArXiv abs/2105.13502. — 2021.
5. Debjeet Majumdar, Vinay Namboodiri Unsupervised domain adaptation of deep object detectors // The European Symposium on Artificial Neural Networks. — 2018.
6. Yaroslav Ganin, E. Ustinova, Hana Ajakan, Pascal Germain, H. Larochelle, François Laviolette, M. Marchand, V. Lempitsky Domain-Adversarial Training of Neural Networks // Journal of machine learning research. — 2015.
7. Yuhua Chen, Wen Li, Christos Sakaridis, Dengxin Dai, Luc Van Gool Domain Adaptive Faster R-CNN for Object Detection in the Wild // Computer Vision and Pattern Recognition Conference 2018. — 2018.
8. Jianfeng Dong, Zhongzi Long, Xiaofeng Mao, Changting Lin, Yuan He, Shouling Ji Multi-level Alignment Network for Domain Adaptive Cross-modal Retrieval // Neurocomputing. — 2021. — №440. — P. 207–219.
9. Kuniaki Saito, Yoshitaka Ushiku, Tatsuya Harada, Kate Saenko Strong-Weak Distribution Alignment for Adaptive Object Detection // Computer Vision, and Pattern Recognition Conference. — 2019.
10. Han-Kai Hsu, Chun-Han Yao, Yi-Hsuan Tsai, Wei-Chih Hung, Hung-Yu Tseng, Maneesh Singh, Ming-Hsuan Yang Progressive Domain Adaptation for Object Detection // 2020 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision. — 2020
11. Giulio Mattolin, Luca Zanella, Elisa Ricci, Yiming Wang ConfMix: Unsupervised Domain Adaptation for Object Detection via Confidence-based Mixing // IEEE Workshop/Winter Conference on Applications of Computer Vision. — 2022.
12. Mohamed L. Mekhalfi, Davide Boscaini, Fabio Poiesi Detect, Augment, Compose, and Adapt: Four Steps for Unsupervised Domain Adaptation in Object Detection // British Machine Vision Conference. — 2023.
13. Hui Li, X. Wang, Shifei Ding Research, and development of neural network ensembles: a survey // Artificial Intelligence. — 2018. — №49 (2).
14. Matias Valdenegro Sub-Ensembles for Fast Uncertainty Estimation in Neural Networks // International Conference on Computer Vision Workshops. — 2023.
15. Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. — 2016.

© Медведев Анатолий Андреевич (medvedev.workspace@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРА КАЛМАНА К ДИНАМИЧЕСКИМ СТОХАСТИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ ОБЩЕГО РАВНОВЕСИЯ

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF APPLYING THE KALMAN FILTER TO DYNAMIC STOCHASTIC GENERAL EQUILIBRIUM MODELS

**O. Mitina
V. Gushel**

Summary. The article is devoted to the study of dynamic stochastic general equilibrium models and the evaluation of the effectiveness of applying the Kalman filter to them.

The purpose of the study is to assess the applicability of such a tool as the Kalman filter for working with dynamic stochastic general equilibrium models in terms of filtering data and predicting the future state of the system based on the current one.

The main method presented in the study is to compare the data obtained during the simulation of the model's behavior with the data obtained using the Kalman filter. In the study, this tool is used to clear data from distortions and predict the future state of the system.

To determine the effectiveness of the Kalman filter, the analysis of various indicators is used in the work: linear Pearson correlation coefficient, mean and median values, standard deviation, standard and mean absolute error. In addition, a comparison with other filtering methods was made for a more objective assessment.

The result of the study is the conclusion about the possibility of effective use of the Kalman filter when working with dynamic stochastic general equilibrium models, based on the analysis of the metrics under consideration and graphical representations of the filter.

Keywords: dynamic stochastic general equilibrium models, data filtering, Kalman filter, time series, data processing.

Митина Ольга Алексеевна

Кандидат педагогических наук, доцент, доцент,
ФГБОУ ВО МИРЭА — Российский технологический
университет, г. Москва
alogmi@yandex.ru

Гушель Василий Олегович

ФГБОУ ВО МИРЭА — Российский технологический
университет, г. Москва
vgstudy@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена теме исследования динамических стохастических моделей общего равновесия и оценке эффективности применения к ним фильтра Калмана.

Целью исследования является оценка применимости такого инструмента, как фильтр Калмана, для работы с динамическими стохастическими моделями общего равновесия в вопросах фильтрации данных и прогнозирования будущего состояния системы на основе текущего.

Основным методом, представленным в исследовании, является сравнение данных, полученных в ходе симуляции поведения модели с данными, полученными при помощи фильтра Калмана. В исследовании при помощи данного инструмента очищают данные от искажений и прогнозируют будущее состояние системы.

Для определения эффективности применения фильтра Калмана в работе используется анализ различных показателей: линейного коэффициента корреляции Пирсона, среднего и медианного значений, стандартного отклонения, средней квадратичной и средней абсолютной ошибки. Помимо этого, произведено сравнение с другими методами фильтрации для более объективной оценки.

Результатом исследования являются выводы о возможности эффективного использования фильтра Калмана при работе с динамическими стохастическими моделями общего равновесия, основанные на анализе рассматриваемых метрик и графических представлений работы фильтра.

Ключевые слова: динамические стохастические модели общего равновесия, фильтрация данных, фильтр Калмана, временные ряды, работа с данными.

Введение

В современной науке динамические стохастические модели общего равновесия имеют широкое распространение и занимают ведущее место среди инструментов для анализа макроэкономических процессов. [1]

Динамические стохастические модели общего равновесия имеют широкое распространение и занимают ведущее место среди инструментов для анализа макроэкономических процессов. При помощи таких моделей описываются сложные экономические взаимосвязи

с учетом случайных внешних воздействий, политических и экономических решений, технологического прогресса.

Важной задачей при работе с такими моделями является оценка их состояний на основе имеющихся данных и прогнозирование их будущего состояния. Для решения этих задач может быть использован фильтр Калмана — алгоритм, который может с большой точностью оценивать состояние линейных динамических систем по неполным и зашумленным измерениям.

Несмотря на широкое распространение динамических стохастических моделей общего равновесия

и фильтра Калмана в научном сообществе, множество вопросов с учетом их совместного использования остаются открытыми. В частности, актуальной является задача оценки эффективности применения фильтра Калмана к таким моделям для анализа и прогнозирования экономических процессов. Такая задача требует глубокого понимания как теоретических основ моделей и методов, фильтрации, так и специфики их применения в условиях современной экономики.

Материалы и методы

В качестве конкретной динамической стохастической модели общего равновесия для исследования взята малая динамическая стохастическая модель общего равновесия [2], имеющая следующий вид:

$$\begin{cases} x_t = E_t x_{t+1} - \frac{1}{\sigma} (i_t - E_t \pi_{t+1} - r_t^n) \\ \pi_t = \beta E[\pi_{t+1}] + k x_t \\ i_t = \rho i_{t-1} + (1 - \rho)(\phi_\pi \pi_t + \phi_x x_t) + v_t \end{cases},$$

- где x_t — отклонение логарифма национального дохода от долгосрочного равновесного состояния;
- σ — эластичность межвременного замещения;
- β — фактор дисконтирования;
- ϕ_π — коэффициент реагирования на целевой показатель инфляции центрального банка;
- ϕ_x — коэффициент реакции центрального банка на разрыв выпуска;
- k — степень жесткости цен;
- ρ — коэффициент сглаживания процентных ставок;
- π_t — инфляция;
- i_t — номинальная процентная ставка;
- v_t — случайные шоки ставки;
- r_t^n — реальная процентная ставка.

В качестве основного метода фильтрации при работе с моделью будет использоваться фильтр Калмана — метод, широко применяемый при работе с линейными системами. [3]

Полный алгоритм работы фильтра Калмана можно представить в виде следующей последовательности:

1. Экстраполяция.
 - 1.1. Экстраполяция состояния.
 - 1.2. Экстраполяция матрицы ковариации.
2. Коррекция.
 - 2.1. Усиление по Калману.
 - 2.2. Коррекция вектора состояния.
 - 2.3. Расчет ковариационной матрицы.

Для корректного применения фильтра Калмана к рассматриваемой модели, необходимо вычислить матрицу перехода состояний для фильтра Калмана. Для этого не-

обходимо представить рассматриваемую ДСМОР в матричном виде. Матричное представление системы представлено формулой:

$$\begin{pmatrix} E_t x_{t+1} \\ E_t \pi_{t+1} \\ i_{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{1}{\sigma} & \frac{1}{\sigma} \\ -\frac{k}{\beta} & \frac{1}{\beta} & 0 \\ (1-\rho)\phi_x & (1-\rho)\phi_\pi & \rho \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_t \\ \pi_t \\ i_t \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\frac{1}{\sigma} r_t^n \\ 0 \\ v_t \end{pmatrix}.$$

В представленном выше уравнении, матрицей перехода состояний является матрица при наблюдаемых значениях. Свободные члены — внешние факторы.

Для объективной оценки эффективности фильтрации исходных данных при помощи фильтра Калмана будет сравниваться с методом скользящего среднего и фильтром Ходрика-Прескотта. [4]

В качестве метрик оценки эффективности используются несколько показателей. Основной критерий, применяемый в исследовании для оценки качества фильтрации — коэффициент корреляции Пирсона. Также для оценки качества фильтрации используются две метрики ошибки: среднеквадратичная и средняя абсолютная. [5]

Следующий этап исследования динамической стохастической модели общего равновесия фильтра Калмана после фильтрации исходных зашумленных данных — прогнозирование развития системы при помощи фильтра. В данном случае при работе фильтра фактически отсутствует шаг коррекции, так как обновленных данных о состоянии системы не передается. Фильтр будет обновляться только на основе последнего известного значения.

Алгоритм прогнозирования данных в исследовании состоит из следующих пунктов:

1. При помощи системы уравнений, описывающих систему, смоделировать поведение ДСМОР на 100 шагов.
2. Отфильтровать данные ДСМОР при помощи фильтра Калмана.
3. Ограничить последнее состояние системы, допустимое фильтру Калмана.
4. Спрогнозировать при помощи фильтра Калмана состояние трех измеряемых параметров системы на дистанции 1-10 шагов в зависимости от итерации.
5. Оценить эффективность прогнозирования состояния системы при помощи фильтра Калмана в условиях отсутствия поступления новых данных.

Также стоит отметить, что все вычисления в рамках работы производятся с использованием языка программирования Python. [6]

Литературный обзор

В отечественной сфере исследования динамических стохастических моделей общего равновесия выделяют два автора, внесшие наибольший вклад в эту научную область: Шульц Д.Н. и Полбин А.В.

В своей работе «Развитие динамической стохастической модели общего равновесия для условий открытой экономики» Д.Н. Шульц и В.И. Балута исследуют ДСМОР, описывающие «функционирование и взаимодействие ключевых секторов экономики: домашние хозяйства, реальный сектор, внешний мир и центральный банк, проводящий политику инфляционного таргетирования». [7]

В то же время, А.В. Полбин в своем научном труде «Построение и калибровка DSGE-моделей для российской экономики с использованием импульсных откликов векторной авторегрессии» использует динамические стохастические модели общего равновесия для применения их к российской экономической специфике. [8]

Про широкое применение фильтра Калмана в современной научной и практической действительности указано в книге «Моделирование электропривода» Фурсова В.Б.: «Фильтр Калмана относится к так называемым адаптивным фильтрам. Появились они в конце 1950-х годов, превратившись из экзотической технологии преимущественно для военных целей в «ширпотреб», без которого сейчас была бы немыслима работа модемов, сотовых телефонов и многого другого». [9] Данная книга является показательной тем, что отражает общие тенденции в применении фильтра Калмана — на данный момент в подавляющем большинстве случаев он используется в целях работы с физическими системами, не связанными с человеческим фактором. В данной статье представлен анализ работы фильтра с экономической моделью.

Результаты

На Рис. 1 представлена симуляция отклонения значения номинальной ключевой ставки от долгосрочного равновесного состояния (пунктирная линия), наблюдений, подвергнутых искажениям (светло-серая линия) и отфильтрованных при помощи фильтра Калмана значений (черная линия).

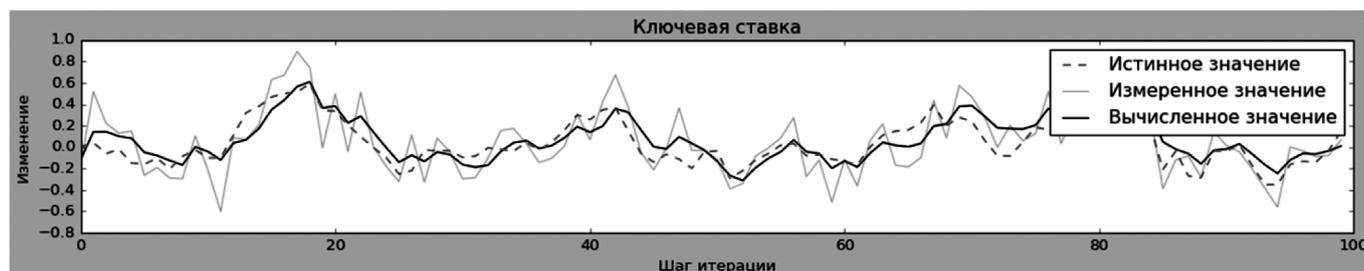


Рис. 1. Данные модели по инфляции

Далее для оценки применения фильтра Калмана сравним эффективность фильтрации рассмотренных выше методов. Сравняться и оцениваться эффективность будет по каждому из трех наблюдаемых параметров модели.

Результаты сведены в таблицы для каждого из наблюдаемых значений. В Таблице 1 представлены метрики для различных методов фильтрации для показателя отклонения логарифма национального дохода.

Таблица 1. Результаты фильтрации данных ДСМОР

Данные	Исходные данные	Скользящее среднее	Фильтр Ходрика–Прескотта	Фильтр Калмана
Среднее значение	-0.069127	-0.067660	-0.077925	-0.063256
Медиана	-0.061234	-0.073277	-0.068560	-0.063417
Среднеквадратичное отклонение	0.446475	0.358022	0.176179	0.413091
Коэффициент Пирсона	—	0.638	0.607	0.893
Среднеквадратичная ошибка	—	0.35	0.365	0.2
Средняя абсолютная ошибка	—	0.3	0.314	0.16

В Таблице 2 отражены метрики для инфляции.

Таблица 2. Результаты фильтрации данных ДСМОР

Данные	Исходные данные	Скользящее среднее	Фильтр Ходрика–Прескотта	Фильтр Калмана
Среднее значение	-0.032653	-0.046554	-0.041050	-0.020409
Медиана	-0.031410	-0.017944	-0.057632	0.035433
Среднеквадратичное отклонение	0.065835	0.121757	0.085561	0.169360
Коэффициент Пирсона	—	0.644	0.840	0.736
Среднеквадратичная ошибка	—	0.094	0.047	0.128
Средняя абсолютная ошибка	—	0.077	0.040	0.107

В Таблице 3 отражены данные для номинальной ключевой ставки

Таблица 3. Результаты фильтрации данных ДСМОР

Данные	Исходные данные	Скользящее среднее	Фильтр Ходрика–Прескотта	Фильтр Калмана
Среднее значение	-0.005639	0.020479	0.017507	-0.020699
Медиана	0.026132	0.048249	-0.012819	-0.004868
Среднеквадратичное отклонение	0.247840	0.191684	0.084628	0.229799
Коэффициент Пирсона	–	0.516	0.422	0.818
Среднеквадратичная ошибка	–	0.224	0.225	0.178
Средняя абсолютная ошибка	–	0.188	0.189	0.149

Как видно из таблиц, для двух из трех наблюдаемых макроэкономических показателей фильтра Калмана показал наибольшее сходство с исходными данными.

На Рис. 2 представлен прогноз будущего состояния системы при помощи фильтра Калмана для значения инфляции. Из рисунка видно, что фильтр экстраполирует закономерность, выявленную на последнем шаге с доступными данными. Такая работа фильтра обоснована отсутствием данных об обновленном состоянии системы, которые были бы использованы на шаге коррекции.



Рис. 2. Прогнозирование инфляции

Для применимости такого подхода также важно, чтобы в момент прекращения наблюдений в системе не происходило резких колебаний, так как в таком случае фильтр будет экстраполировать аномальную динамику, что не позволит адекватно оценить будущее состояние системы [10]. Неудачный результат прогнозирования состояния системы представлен на Рисунке 3.

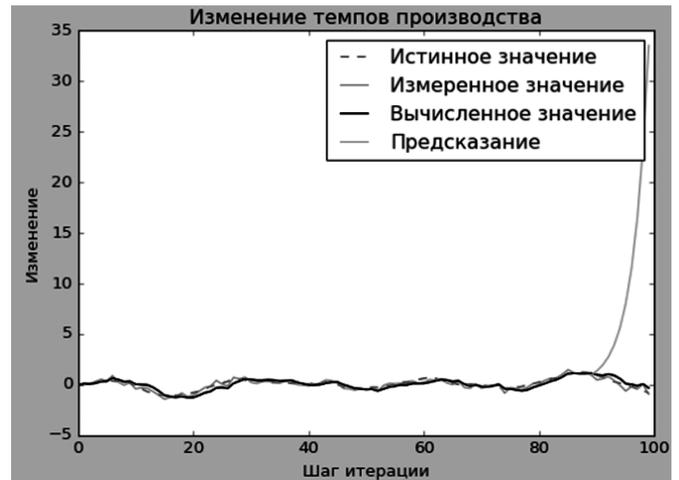


Рис. 3. Прогнозирование изменения темпов производства

Также необходимо отметить, что прогнозирование состояния ДСМОР на несколько шагов вперед при помощи фильтра Калмана возможно лишь на небольшом временном промежутке. Как видно из Рис. 2 и 3., прогноз состояния системы все дальше отходит от равновесного состояния, в то время как реальная система колеблется вокруг своего устойчивого состояния. Такая ситуация приводит к экспоненциальному росту ошибки и снижению коэффициента Пирсона для данных системы и прогнозных значений.

Обсуждение

Исследование выявило высокую эффективность использования фильтра Калмана при работе с динамическими стохастическими моделями общего равновесия. В двух из трех случаев фильтр показал лучший коэффициент корреляции Пирсона, чем два других метода фильтрации — скользящее среднее и фильтр Ходрика-Прескотта.

При этом прогнозировать будущее состояние динамической стохастической модели общего равновесия также возможно, но только при соблюдении описанных в тексте статьи ограничений: прогноз должен осуществляться на малое количество шагов, также наблюдения не должны прерываться в момент сильных колебаний или шоков.

Заключение

Таким образом, использование фильтра Калмана при работе с динамическими стохастическими моделями общего равновесия с учетом ограничений, выявленных в ходе работы, позволяет улучшить выделение сути поведения таких моделей, отбрасывая возникающие шумы наблюдений и случайные колебания, а также прогнозировать их состояние на небольшое шагов вперед без накопления критической ошибки прогнозирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полбин А.С. Построение и калибровка DSGE-модели для российской экономики с использованием импульсных откликов векторной авторегрессии: сборник научных трудов / А.С. Полбин. — Москва: Институт Гайдара, 2023. — 56 с.
2. Бенасси Ж.-П. Макроэкономическая теория / Ж.-П. Бенасси — Москва: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2022. — 592 с.
3. Гушель В.О., Шварц А.М., Тебинов Н.С. Роль фильтра Калмана в разработке программного обеспечения для предиктивного анализа в финансовых технологиях // Инвестиции и Инновации. 2023. №11.
4. Полухин П.В. Оптимизация вычислительных процедур стохастических алгоритмов фильтрации и сглаживания, построенных на основе фильтра Калмана / П.В. Полухин, Ю.В. Смирнов // Вестник Российского нового университета. Серия Сложные системы модели, анализ и управление. 2022. № 1. С. 3–14.
5. Иванов Б.Н. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов / Б.Н. Иванов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 224 с.
6. Маккинни У. Python и анализ данных. Первичная обработка данных с применением pandas, NumPy и Jupiter: справочник / У. Маккинни; перевод с английского А.А. Слинкина. — 3-е изд. — Москва: ДМК Пресс, 2023. — 536 с.
7. Шульц Д.Н., Балута В.И. Развитие динамической стохастической модели общего равновесия для условий открытой экономики // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. 2021. № 44. 27 с.
8. Построение и калибровка DSGE-модели для российской экономики с использованием импульсных откликов векторной авторегрессии / Полбин А., Синельников-Мурылев С. — М.: Издательство Ин-та Гайдара, 2023. — 56 с.: ил. — (Научные труды / Ин-т эконом. политики им. Е.Т. Гайдара; № 182Р).
9. Фурсов В.Б. Моделирование электропривода: учебное пособие / В.Б. Фурсов. — 2-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург: Лань, 2022. — ISBN 978-5-8114-3566-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/206741> (дата обращения: 01.07.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей. — С. 132.
10. Коломеец А.О. Сравнительный анализ временных параметров обработки сигналов тензометрического контроля линейной сверткой и фильтром Калмана / А.О. Коломеец, В.С. Выплавень // Вестник Российского нового университета. Серия Сложные системы модели, анализ и управление. — 2020. — № 1. — С. 174–182.

© Митина Ольга Алексеевна (alogmi@yandex.ru); Гушель Василий Олегович (vgstudy@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СХЕМЫ ДАННЫХ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВЫГРУЗКИ СКРИПТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТАБЛИЦ

DEVELOPMENT OF A WEB APPLICATION FOR VISUAL DESIGN OF A DATA SCHEME WITH THE POSSIBILITY OF UPLOADING A SCRIPT FOR CREATION OF TABLES

**E. Prokhorov
A. Dorofeev**

Summary. The article is devoted to the issue of developing a web application for designing a data schema with the ability to generate and download an SQL script to create data tables of the selected DBMS and SQL language dialect. The architecture of the web application, the technology stack for its implementation is considered, and the general interface of the system is presented. The planned inclusion of a subsystem for setting the correspondence of table creation operators and setting attribute characteristics using the theory of translators and setting grammar and rules for a specific SQL dialect will expand the capabilities of the created application.

Keywords: data schema, relational database, SQL, script generation, web application, PostgreSQL, Node.js, React.js.

Прохоров Евгений Викторович

Иркутский национальный исследовательский
технический университет
Cherem2002@gmail.com

Дорофеев Андрей Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет
dorbaik@ex.istu.edu

Аннотация. Статья посвящена вопросу разработки web-приложения для проектирования схемы данных с возможностью генерации и выгрузки SQL-скрипта для создания таблиц данных выбранных СУБД и диалекта языка SQL. Рассматривается архитектура web-приложения, стек технологий для его реализации, представлен общий интерфейс системы. Планируемое включение подсистемы настройки соответствия операторов создания таблиц и задания характеристик атрибутов с использованием теории трансляторов и задания грамматики и правил для конкретного диалекта SQL расширит возможности созданного приложения.

Ключевые слова: схема данных, реляционная база данных, SQL, генерация скрипта, web-приложение, PostgreSQL, Node.js, React.js.

Введение

В современном мире разработка приложений для работы с базами данных играет ключевую роль в обеспечении эффективного управления информацией. Язык SQL (Structured Query Language) является одним из основных инструментов для работы с реляционными базами данных, которые до сих пор являются самыми распространенными, позволяя разработчикам создавать, изменять, извлекать и управлять данными [1]. Сегодня SQL — самый популярный и широко используемый язык запросов в мире, применяемый в различных областях, включая веб-разработку, аналитику данных, бизнес-анализ, финансы, медицину и многое другое. В современном мире SQL также стал интегрироваться с новыми технологиями, такими как машинное обучение и искусственный интеллект, что позволяет использовать его для анализа и обработки больших объемов данных, выявления паттернов и предсказания будущих событий. Таким образом, SQL продолжает эволюционировать, адаптируясь к изменяющимся потребностям и технологическим трендам, и остается одним из ключевых инструментов в мире информационных технологий.

Создание скриптов для создания баз данных упрощает процесс развертывания проекта на новых серверах или его миграции на другие базы данных. Путем выполнения скриптов можно быстро восстановить структуру базы данных в новом окружении. Скрипты для создания баз данных также могут служить документацией к проекту, описывая его структуру и отношения между данными. Это упрощает понимание проекта другими разработчиками и членами команды.

1. Постановка задачи

Разработка SQL-скриптов может быть достаточно нетривиальной и трудоемкой задачей, особенно при работе с большими и сложными схемами баз данных. На помощь разработчикам приходят различные CASE-средства и приложения, применяемые для проектирования баз данных. Здесь следует отметить DBDesigner [2], MySQL Workbench [3], Valentina Studio [4] и многие другие. У всех них есть, естественно, свои плюсы и минусы. Однако, на наш взгляд, недостатком является явная ориентация на определенные СУБД, их диалекты, генерация скрипта только под выбранную (-ые) СУБД.

В этой связи становится актуальной задача разработки и дальнейшего развития инструмента, позволяющего визуально построить схему данных, а затем получать скрипт по настроенным в этой же системе правилам.

Основными преимуществами разрабатываемого приложения должны стать: использование свободно-распространяемого программного обеспечения при проектировании и разработке, открытый исходный код, возможность генерировать SQL-код, поддержка различных диалектов SQL, интуитивно понятный интерфейс.

2. Применяемые средства разработки

Backend, или серверная часть, представляет собой основную часть веб-приложения, ответственную за обработку запросов от клиентской части (frontend) и взаимодействие с базами данных, внешними сервисами и другими компонентами системы [5]. Он обеспечивает логику приложения, обработку данных, аутентификацию и авторизацию пользователей, а также бизнес-логику, необходимую для функционирования приложения. Выбор технологий для backend-разработки играет ключевую роль в определении производительности, масштабируемости, безопасности и функциональности веб-приложения.

Frontend, или клиентская часть, представляет собой интерфейс веб-приложения, с которым взаимодействуют пользователи. Он отвечает за отображение данных, интерактивность и визуальное взаимодействие пользователя с приложением. Выбор технологий для frontend-разработки имеет решающее значение для создания удобного, функционального и привлекательного пользовательского интерфейса.

Ключевые факторы, которые следует учитывать при выборе технологий для frontend-разработки, включают в себя производительность, масштабируемость, поддержку современных стандартов веб-разработки, а также удобство использования и обучения для разработчиков.

Выбор авторов пал на среду выполнения JavaScript-программ Node.js [6] для backend, который отлично подходит для создания быстрых и масштабируемых веб-приложений с высокой производительностью и удобством разработки, и React.js [7], представляющий собой мощный инструмент для создания современных веб-приложений, обладающих высокой производительностью, гибкостью и широкой поддержкой сообщества. Для хранения данных разрабатываемого приложения используется СУБД PostgreSQL, являющаяся наиболее развивающейся в настоящее время, которая подходит для крупных и сложных проектов, требующих богатый набор функциональных возможностей и высокую надежность [8]. Инструментами разработки стали pgAdmin, Visual Studio Code (VS Code), Git — распределенная система управления версиями.

3. Проектирование базы данных и общая архитектура приложения

Модель данных — это совокупность правил порождения структур данных в базе данных, операций над ними, а также ограничений целостности, определяющих допустимые связи и значения данных, последовательность их изменения [9].

На рис. 1 представлена обобщенная физическая модель данных реализуемого приложения для СУБД PostgreSQL.

Разрабатываемое программное средство представляет собой современное веб-приложение с использованием технологий Node.js, Express.js, React.js и PostgreSQL. Оно разделено на серверную и клиентскую части, каждая из которых имеет свою структуру и зону ответственности (рис. 2).

Основными подсистемами приложения являются следующие:

- подсистема управления данными, включающая в себя все функции, связанные с получением, обработкой, изменением и хранением данных, таких как таблицы, записи и запросы к базе данных;

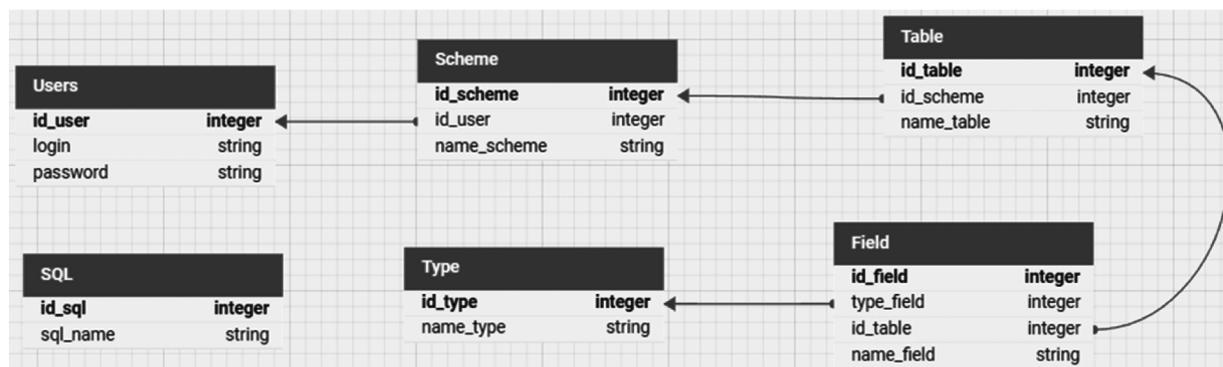


Рис. 1. Обобщенная физическая модель данных приложения

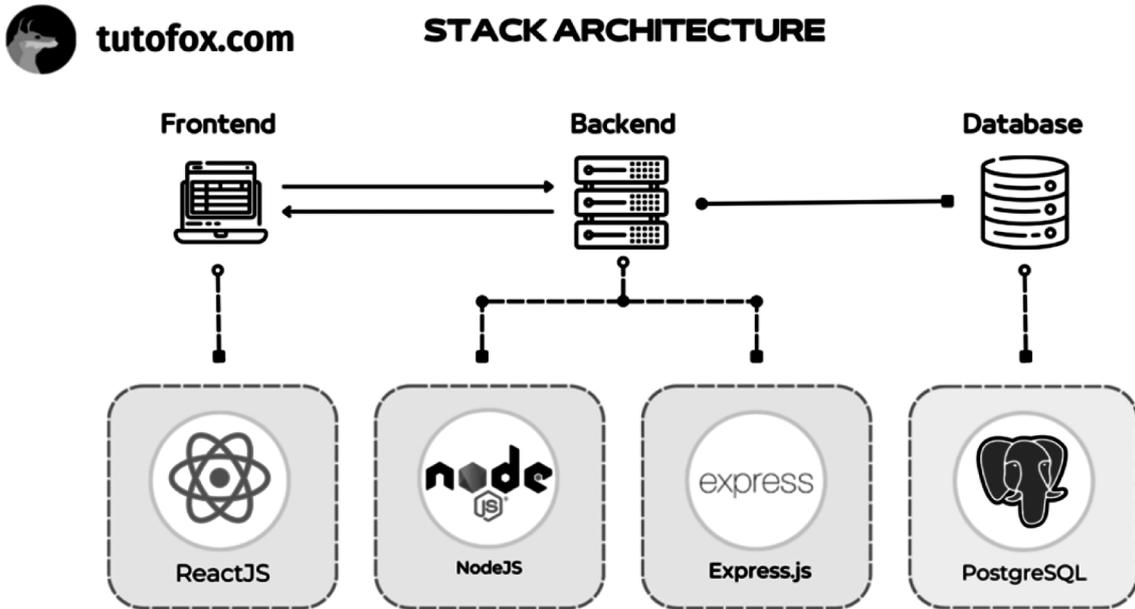


Рис. 2. Архитектура системы

- подсистема пользовательского интерфейса (UI), отвечающая за отображение данных и взаимодействие с пользователем через интерфейс пользователя;
- подсистема аутентификации и авторизации;
- подсистема обработки данных, включающая в себя все функции и алгоритмы обработки данных, такие как фильтрация, сортировка, преобразование и т. д.;
- подсистема экспорта и импорта данных, отвечающая за возможность экспорта данных из при-

ложения во внешние форматы и импорта данных из внешних источников.

- подсистема взаимодействия с внешними сервисами и API, ответственная за взаимодействие с внешними сервисами, API и другими компонентами, которые могут предоставлять дополнительную функциональность или данные для приложения.

Краткое описание модулей приложения и их иерархия представлены на рис. 3 и в таблице 1.

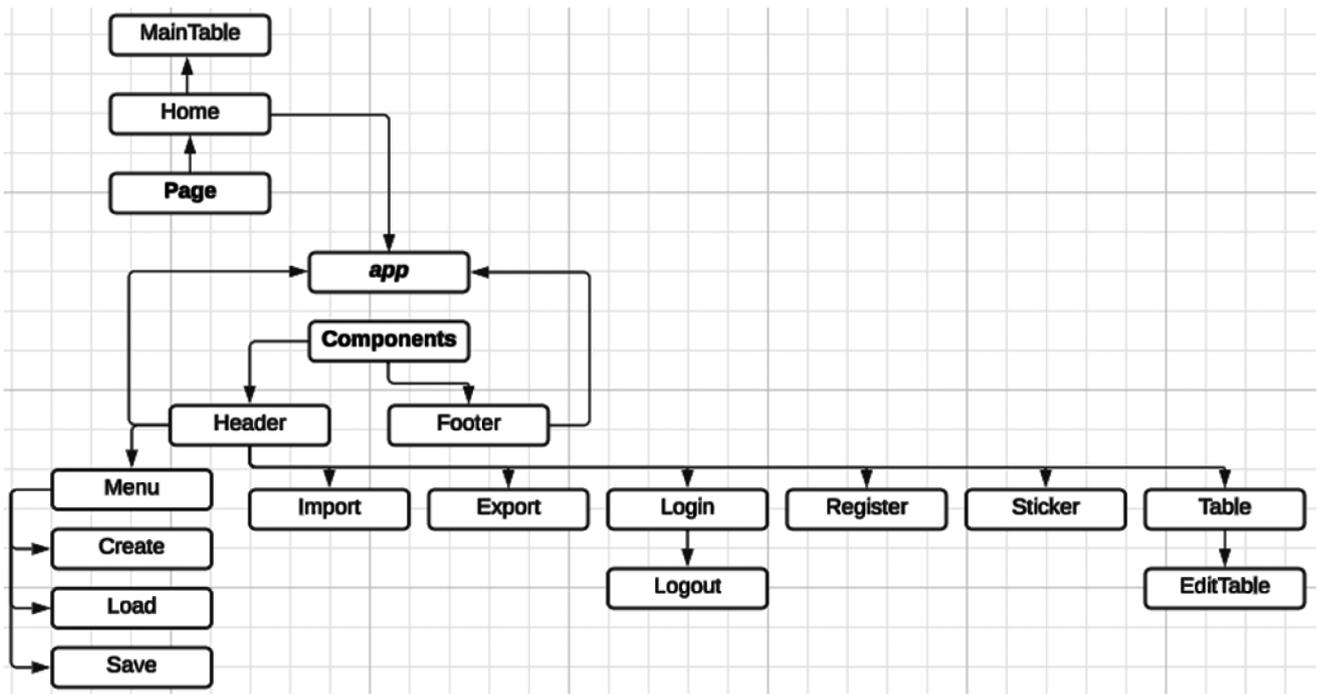


Рис. 3. Связь модулей приложения

Таблица 1.

Функции модулей

Название	Назначение	Тип
Header	Компонент предназначен для отображения верхней части приложения. Он содержит такие элементы, как название, навигационное меню, ссылки на основные разделы приложения	Component
Menu	Навигационное меню — это часть веб-интерфейса, предназначенная для навигации пользователя по различным разделам приложения.	
Create	Компонент, где мы можем ввести название схемы.	
Load	Компонент для загрузки одной из схем (в случае если пользователь авторизован)	
Save	Компонент для сохранения изменений в схеме	
Import	Компонент для импорта схемы	
Export	Компонент для экспорта схемы	
Login	Компонент для входа	
Logout	Компонент для выхода	
Register	Компонент для регистрации	
Sticker	Компонент для размещения заметок	
Table	Компонент для создания таблицы	
EditTable	Компонент для редактирования таблицы	
MainTable	Компонент для отображения таблицы на рабочем пространстве	
Home	Главная страница	Page

В React.js page (страница) обычно представляет собой компонент, который отображает содержимое конкретной страницы веб-приложения. Каждая страница может содержать уникальный URL, различное содержимое и логику, и может быть отображена в браузере как отдельная веб-страница. Component (компонент) представляет собой многократно используемый «строительный блок» интерфейса, который объединяет в себе HTML, CSS и JavaScript для создания отдельных частей пользовательского интерфейса.

4. Интерфейс web-приложения

Рассмотрим интерфейс приложения. После успешной авторизации пользователя ему становится доступно основное окно проектирования схемы данных. На рис. 4 представлен интерфейс главной страницы приложения с построенной схемой данных, состоящей из нескольких взаимосвязанных таблиц.

Пример окна создания таблицы, ее полей, первичного и внешних ключей, задания автоинкрементного поля, уникальных атрибутов представлен на рис. 5.

На рис. 6–7 изображено содержимое файлов с генерированным скриптом для двух выбранных для примера СУБД.

Результаты тестирования позволяют сделать вывод о корректности работы разработанного web-приложения.

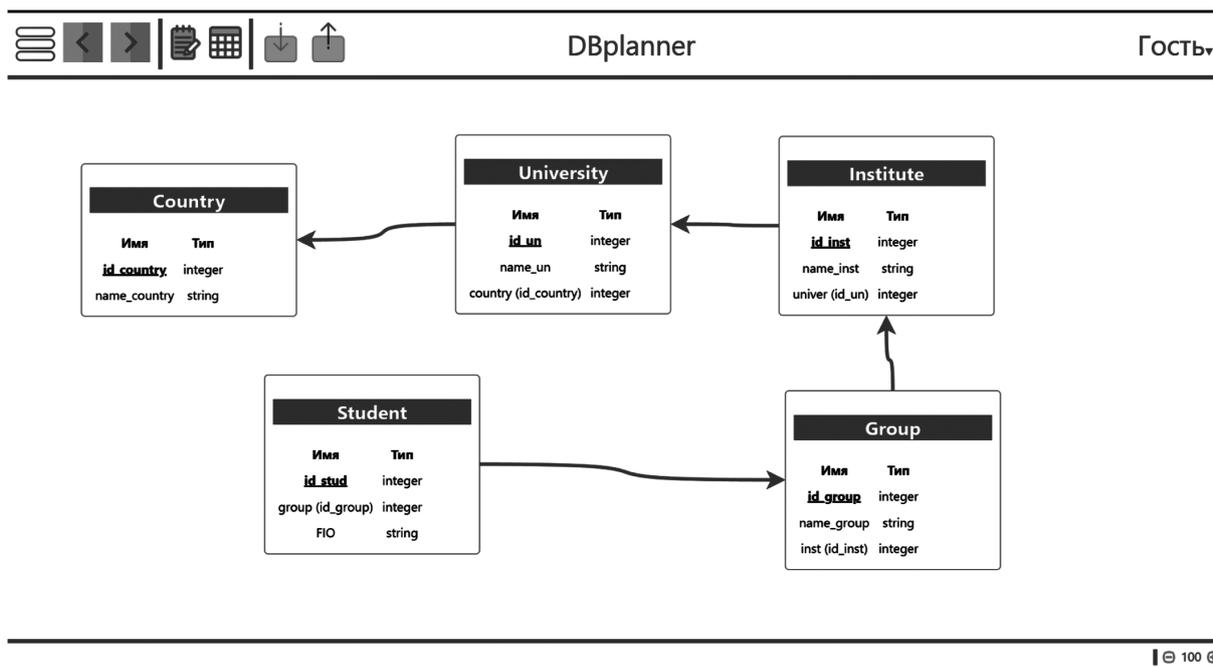


Рис. 4. Общий вид приложения

Название таблицы							
Institute							
Структура таблицы							
Имя	Тип	Основной ключ	Уникальное поле	Автоинкремент	Внешний ключ	Внешняя таблица	Внешнее поле
id_inst	Sele ▾	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
name_inst	Sele ▾	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		-
univer	Sele ▾	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	U... ▾	id... ▾ + -
Сохранить							
Закреть							

Рис. 5. Атрибуты таблицы

```

1 CREATE TABLE Country (
2     id_country integer PRIMARY KEY UNIQUE IDENTITY(1,1),
3     name_country string
4 );
5
6 CREATE TABLE University (
7     id_un integer PRIMARY KEY UNIQUE IDENTITY(1,1),
8     name_un string,
9     country integer, FOREIGN KEY (country) REFERENCES Country(id_country)
10 );
11
12 CREATE TABLE Institute (
13     id_inst integer PRIMARY KEY UNIQUE IDENTITY(1,1),
14     name_inst string,
15     univer integer, FOREIGN KEY (univer) REFERENCES University(id_un)
16 );
17
18 CREATE TABLE Group (
19     id_group integer PRIMARY KEY UNIQUE IDENTITY(1,1),
20     name_group string,
21     inst integer, FOREIGN KEY (inst) REFERENCES Institute(id_inst)
22 );
23
24 CREATE TABLE Student (
25     id_stud integer PRIMARY KEY UNIQUE IDENTITY(1,1),
26     group integer, FOREIGN KEY (group) REFERENCES Group(id_group),
27     FIO string
28 );
29

```

Рис. 6. Скрипт для MySQL

Заключение

Представленная система является первым вариантом средства для построения модели данных с возможностью получения сгенерированного скрипта для создания таблиц базы данных для диалектов различных СУБД, которые в настоящее время ограничены Oracle, MySQL, и PostgreSQL и MS SQL. Планируется реинжиниринг

схемы данных по загруженному скрипту, расширение предоставляемых систем управления базами данных, а также разработка подсистемы настройки соответствия операторов создания таблиц и задания характеристик атрибутов с использованием теории трансляторов и задания грамматики и правил для конкретного диалекта SQL.

```
1 CREATE TABLE Country (  
2     id_country integer PRIMARY KEY UNIQUE SERIAL,  
3     name_country string  
4 );  
5  
6 CREATE TABLE University (  
7     id_un integer PRIMARY KEY UNIQUE SERIAL,  
8     name_un string,  
9     country integer, FOREIGN KEY (country) REFERENCES Country(id_country)  
10 );  
11  
12 CREATE TABLE Institute (  
13     id_inst integer PRIMARY KEY UNIQUE SERIAL,  
14     name_inst string,  
15     univer integer, FOREIGN KEY (univer) REFERENCES University(id_un)  
16 );  
17  
18 CREATE TABLE Group (  
19     id_group integer PRIMARY KEY UNIQUE SERIAL,  
20     name_group string,  
21     inst integer, FOREIGN KEY (inst) REFERENCES Institute(id_inst)  
22 );  
23  
24 CREATE TABLE Student (  
25     id_stud integer PRIMARY KEY UNIQUE SERIAL,  
26     group integer, FOREIGN KEY (group) REFERENCES Group(id_group),  
27     FIO string  
28 );
```

Рис. 7. Скрипт для PostgreSQL

ЛИТЕРАТУРА

1. Грофф, Джеймс Р., Вайнберг, Пол Н., Оппель, Эндрю Дж. SQL: полное руководство: Пер. с англ. — М.: 000 «И.Д. Вильяме», 2015. — 960 с.
2. DBDesigner [Электронный ресурс] URL: <https://www.dbdesigner.net> (дата обращения: 15.05.2024).
3. MySQL Workbench [Электронный ресурс] URL: <https://www.mysql.com/products/workbench/>. (дата обращения: 20.05.2024).
4. Valentina Studio [Электронный ресурс] URL: <https://www.valentina-db.com/> (дата обращения: 20.05.2024).
5. Testengineer.ru [Электронный ресурс] URL: <https://testengineer.ru/> (дата обращения: 25.05.2024).
6. Попова, Ю.Ю. Node.js: разработка приложений в микросервисной архитектуре с нуля / Ю.Ю. Попова. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2024. — 256 с.
7. Бэнкс Алекс, Порселло Ева. React: современные шаблоны для разработки приложений / А. Бэнкс, Е. Порселло. — Санкт-Петербург: Питер, 2022. — 320 с.
8. PostgreSQL Documentation. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата обращения 17.05.2024).
9. Дatalogические модели данных [Электронный ресурс] URL: https://spravochnaya.com/7514_datalogicheskie-modeli-dannyh.html (дата обращения: 10.06.2024).

© Прохоров Евгений Викторович (Cherem2002@gmail.com); Дорофеев Андрей Сергеевич (dorbaik@ex.istu.edu)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ РАЗДЕЛАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ, НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ И СОСТАВОМ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

INVESTIGATION OF THE RELATIONSHIPS BETWEEN SECTIONS OF THE TERMS OF REFERENCE, REGULATORY DOCUMENTATION AND THE COMPOSITION OF INDUSTRIAL ROBOTS

**D. Rozhkov
O. Novoselova**

Summary. The article describes the classification of industrial robots, sections of the terms of reference, highlights a list of necessary and sufficient regulatory documents to determine their mutual influence and build an algorithm for automating the creation of the terms of reference.

Keywords: terms of reference, interrelation of sections of the terms of reference, the process of developing the terms of reference, regulatory documentation.

Рожков Дмитрий Андреевич

Аспирант, ФГБОУ ВО «Московский государственный
технологический университет «Станкин»

Digirus.rojkov.1505@yandex.ru

Новоселова Ольга Вячеславовна

кандидат технических наук, заведующий
кафедрой, ФГБОУ ВО «Московский государственный
технологический университет «Станкин»

ol.novoselova@stankin.ru

Аннотация. В статье приведено описание классификации промышленных роботов, разделов технического задания, выделен перечень необходимых и достаточных регламентирующих документов для определения их взаимовлияния и построения алгоритма автоматизации создания технического задания.

Ключевые слова: техническое задание, взаимосвязь разделов технического задания, процесс разработки технического задания, нормативная документация.

Разработка высокотехнологичных робототехнических комплексов является актуальной задачей современности. Одним из первых шагов ее выполнения является проработка технического задания (ТЗ). ТЗ — исходный технический документ для проведения работы, устанавливающий требования к создаваемому изделию и технической документации на него, а также требования к объему, срокам проведения работы и форме представления результатов. Таким образом, качественно написанное ТЗ является базой для дальнейшей разработки изделия.

Процесс создания ТЗ на робототехническую конструкцию является сложным, при котором необходимо учитывать множество характеристик, их сочетание и взаимовлияние.

В связи с этим автоматизация процесса создания технического задания на робототехническую конструкцию является важной задачей, включающей необходимость разработки модели ТЗ, алгоритмов формирования и согласования документа.

Для начала необходимо рассмотреть классификацию промышленных роботов (рис. 1) [1].

Исходя из предложенной классификации, можно выделить основные параметры промышленного робота:

- характер выполняемой операции;
- степень специализации;
- область применения (исходя из специализации);
- система координат (исходя из специализации);
- число степеней подвижности (исходя из специализации);
- и т. д. [2]

К основным параметрам составной части промышленного робота — мехатронного модуля относятся:

- развиваемая сила;
- величина рабочего хода;
- точность позиционирования.

Основные технические требования и раздел «состав изделия» технического задания на разработку робототехнического комплекса охватываются и регулируются выделенными параметрами.

В зависимости от выбранной конфигурации промышленного робота может меняться база нормативной документации. В связи с этим необходимо определить необходимый и достаточный набор стандартов. Вот некоторые из них:

ГОСТ 15.016–2016 «Система разработки и постановки продукции на производство. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ. Требования к содержанию и оформлению».

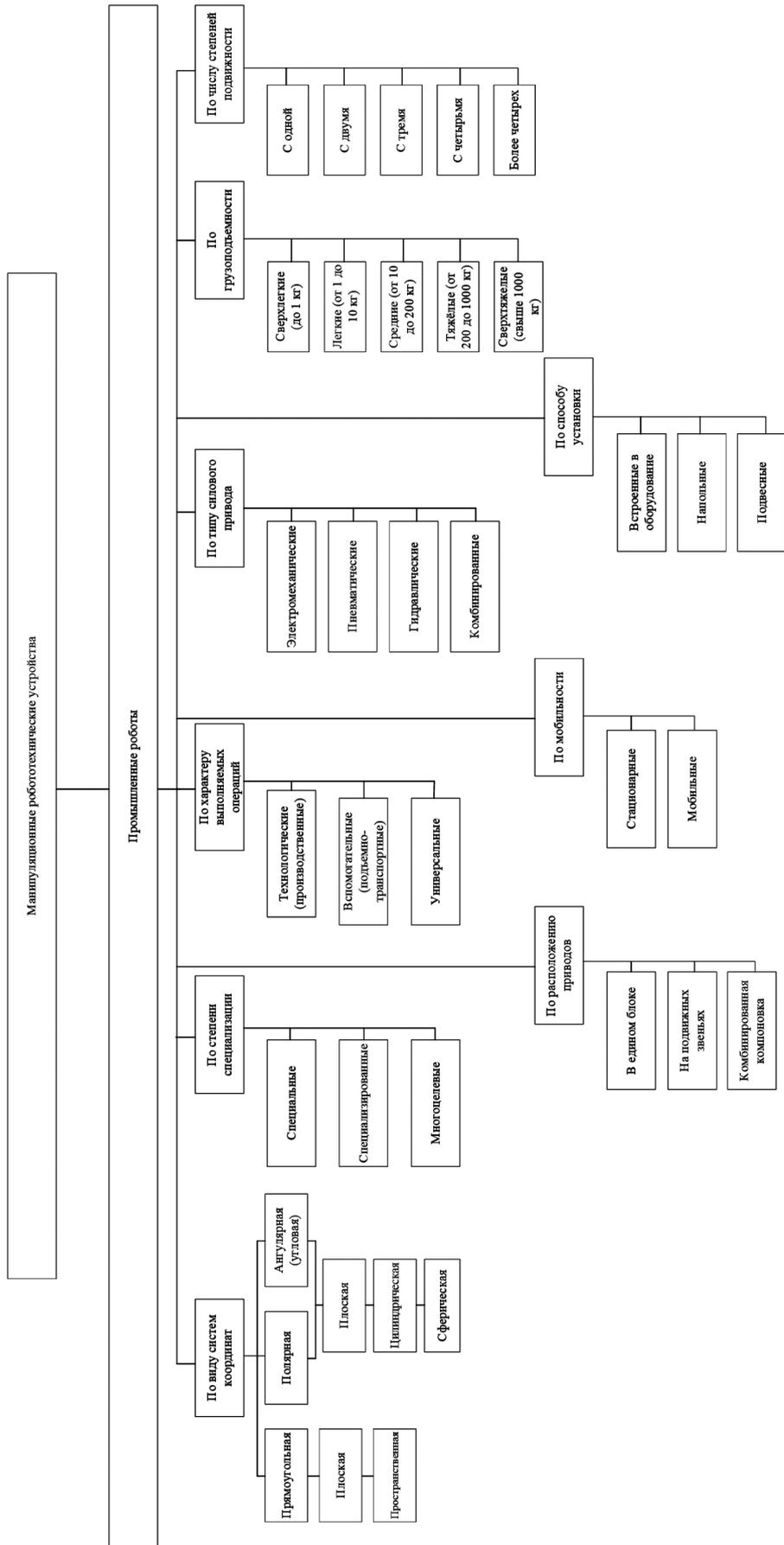


Рис.1. Классификация промышленных роботов

ГОСТ 2.102–2013 Единая система конструкторской документации ВИДЫ И КОМПЛЕКТНОСТЬ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ.

ГОСТ 2.103–2013 Единая система конструкторской документации СТАДИИ РАЗРАБОТКИ.

ГОСТ IEC 61000-4-3-2016 Электромагнитная совместимость. Методы испытаний и измерений.

ГОСТ Р 60.2.3.3-2023 Роботы и робототехнические устройства. Роботы космические. Методы оценки соответствия предъявляемым техническим требованиям.

После определения параметров и нормативной документации можно выделить следующую взаимосвязь разделов ТЗ, составных частей промышленного робота (манипулятора), нормативной документации и разрабатываемой документации (таблица 1) [3–7].

Таблица 1. Взаимосвязь разделов ТЗ, составных частей ПР, нормативных документов и разрабатываемой документации (фрагмент).

Раздел/подраздел ТЗ	Составная часть	ГОСТ	Выдаваемая научно-техническая документация
Состав изделия	Манипулятор в целом	ГОСТ Р 60.1.2.4-2020 ГОСТ Р 60.3.3.1-2016 ГОСТ 2.102–2013 ГОСТ 2.103–2013 ГОСТ 15.016-2016	Схема деления Чертеж общего вида Сборочный чертеж Габаритный чертеж Электронная структура Спецификация Эксплуатационные документы Ремонтные документы Инструкция
	Мехатронный модуль		Чертеж общего вида Сборочный чертеж Спецификация Эксплуатационные документы Инструкция
Требования на значения	Манипулятор в целом	ГОСТ Р 60.3.3.1-2016	Эксплуатационные документы Инструкция

Имея данные о взаимосвязи раздела ТЗ, состава манипулятора и нормативных документов можно приступить к разработке процесса формирования технического задания и автоматизированной системы его поддержки.

Для описания процесса формирования технического задания на робототехническую конструкцию необходимо его декомпозировать на подзадачи [8].

Система, включающая описание процесса формирования ТЗ, состоит из следующих модулей (рис. 1):

- базовая модель ТЗ на конструкцию;
- модель конструкции;
- модель ТЗ на конструкцию.

Каждая модель имеет информационное (статическое) и функциональное (динамическое) описание. Информационное описание модели ТЗ на конструкцию представляет из себя набор данных о содержании модели, функциональное описание является процессом ее разработки (рис. 2). Информационное описание модели РТК включает описание состава и структуры конструкции, а функциональное описание — это процесс функционирования конструкции (рис. 3) [9–10].

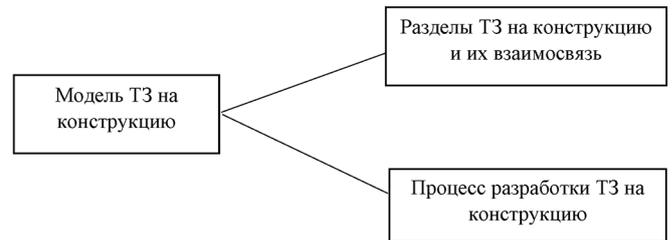


Рис. 2. Модель ТЗ на конструкцию

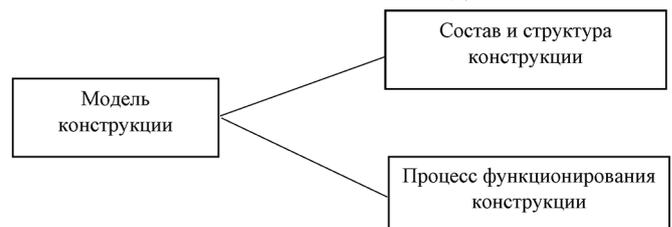


Рис. 3. Модель ТЗ на конструкцию

Базовая модель ТЗ на конструкцию в информационной составляющей содержит состав и структуру ТЗ, в которую входит все множество разделов. Функциональная составляющая в работе не рассматривается, так как она является процессом формирования базового ТЗ и определяется на более высоком уровне.

При этом в процессе разработки ТЗ на робототехническую конструкцию модель конструкции является ограничением на базовую модель ТЗ и позволяет определить необходимые разделы и стандарты при формировании ТЗ на конкретный объект.

Рассмотрим предложенные модели последовательно.

Модель ТЗ формируется на основании состава базовой модели ТЗ (перечень разделов) и ее структуры (взаимосвязи разделов). В зависимости от особенностей разрабатываемого (модернизируемого) изделия, условий его применения и эксплуатации допускается вводить в ТЗ другие разделы или исключать разделы, в которых нет необходимости.

Рассмотрим наиболее часто используемые разделы (таблица 2).

Таблица 2.
Разделы технического задания (фрагмент)

№ раздела	Наименование	Примечание
1	наименование, шифр ОКР, основание, исполнитель и сроки выполнения	Обязательно
2	цель выполнения ОКР, наименование и обозначение изделия	Обязательно
3	технические требования к изделию	Обязательно
4	техничко-экономические требования	Обязательно
5	требования к видам обеспечения	Не обязательно
6	требования к сырью, материалам и КИМП	Не обязательно
И т. д.		

Не сложно заметить, что все возможные разделы ТЗ можно разделить на обязательные и необязательные (ситуационные). На основании этого факта можно ввести следующее математическое описание структуры ТЗ:

если R_1 — множество (перечень) всех возможных обязательных разделов ТЗ, а R_2 — множество всех необязательных разделов, то верно следующее утверждение $R=R_1 \cup R_2$, где R множество всех разделов.

Разделы имеют взаимовлияние на содержание друг друга. Например, изменение технических характеристик (масса-габаритные параметры) повлечёт за собой изменения в разделах 4, 5. Причем V_{ij} , где $i = 1 \dots n$ — номер влияющего раздела, а $j = 1 \dots m$ — номер раздела влияния, по значению противоположно V_{ji} в соответствии с картой значений взаимовлияния разделов (таблица 3).

Таблица 3.

Фрагмент карты взаимовлияния разделов

$V_{i/j}$	1	2	3	4	5	n
1		2	2	2	0	2
2	1		3	3	0	1
3	1	3		3	1	1
4	1	3	3		1	1
5	0	0	2	2		3
m	1	2	2	2	3	

Обозначения на карте:

- 0 — нет взаимовлияния;
- 1 — ячейка по вертикали влияет на ячейку по горизонтали;
- 2 — ячейка по горизонтали влияет на ячейку по вертикали;
- 3 — взаимное влияние двух пересекающихся в клетке ячеек.

В таблице 3 значения «1» и «2» являются противоположными.

Таким образом ТЗ — перечень разделов является конечным множеством из обязательных и необязательных разделов, которое с учетом множества значений взаимовлияния разделов образуют базовую модель ТЗ.

Модель робототехнической конструкции состоит из множества узлов и составных частей S , объединенных их функциональными задачами F .

Множество составных частей и узлов конструкции зависит от конкретного типа робототехнической конструкции. Для упрощения дальнейшего описания установим число узлов равно S_k , каждый из которых имеет функциональную задачу F_k , где k — порядковый номер узла и присущая ему функциональная задача. Таким образом множество $\langle S_1F_1, S_2F_2, \dots, S_kF_k \rangle = SF$ является моделью конструкции.

Модель ТЗ на конструкцию является производной совмещения базовой модели ТЗ и модели конструкции. Совокупной информационной составляющей является состав документа, т. е. перечень разделов и их содержание — множество D . Функциональной составляющей является процесс формирования технического задания как документа — множество итераций A .

В первом приближении можно утверждать, что объединение множества разделов ТЗ и состава конструкции даёт состав документа; а объединение множества взаимосвязей разделов ТЗ и функциональных задач узлов конструкции даёт последовательность шагов процесса формирования ТЗ на конструкцию в целом.

С учетом данных допущений можно сказать, что композиция на отдельные модели не нарушает связей и в достаточной мере отражает необходимые свойства системы.

Когда основные требования уже определены, составляется проект технического задания, который направляется на рассмотрение и согласование во все участвующие и заинтересованные службы и отделы.

Процесс разработки, согласования и утверждения технического задания задействует обширный человеческий ресурс: специалистов ответственных подразделений-исполнителей, нормоконтроль, метрологов, экономистов и др.

В работе выполнен анализ технического задания на робототехническую конструкцию как технического документа, что позволило установить взаимосвязи разделов и разработать обобщенный процесс разработки ТЗ. На основе этого можно проводить моделирование процесса создания ТЗ с учетом особенностей технического задания. Полученные данные станут основой для создания автоматизированной системы поддержки создания технического задания на робототехническую конструкцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Частиков А.П. Алгоритмическое описание механизма логического вывода интеллектуального симулятора промышленного робота / А.П. Частиков, К.Е. Тохтов // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 2. — С. 36.
2. Колтыгин Д.С. Основные признаки Классификации промышленных роботов / Д.С. Колтыгин, И.А. Седельников // Проблемы современной науки. — 2016. — № 22. — С. 19–27.
3. ГОСТ 15.016–2016 «Система разработки и постановки продукции на производство. ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ. Требования к содержанию и оформлению».
4. ГОСТ 2.102–2013 Единая система конструкторской документации ВИДЫ И КОМПЛЕКТНОСТЬ КОНСТРУКТОРСКИХ ДОКУМЕНТОВ.
5. ГОСТ 2.103–2013 Единая система конструкторской документации СТАДИИ РАЗРАБОТКИ.
6. ГОСТ IEC 61000-4-3-2016 Электромагнитная совместимость. Методы испытаний и измерений.
7. ГОСТ Р 60.2.3.3-2023 Роботы и робототехнические устройства. Роботы космические. Методы оценки соответствия предъявляемым техническим требованиям.
8. Мигунова Л.Г. Разработка технического задания для создания программно-технического комплекса автоматизированной системы управления технологическим процессом подстанции / Л.Г. Мигунова, А.И. Тимофеева // Электроэнергетика глазами молодежи — 2017: Материалы VIII Международной научно-технической конференции, Самара, 02–06 октября 2017 года. Том 1. — Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. — С. 325–326. — EDN ZIWZIV.
9. РОЖКОВ Д.А., НОВОСЕЛОВА О.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СОЗДАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА РОБОТОТЕХНИЧЕСКУЮ КОНСТРУКЦИЮ. Сборник статей XVI Международной научно-практической конференции «Научно-техническое развитие России и мира». Научно-образовательная платформа «Цифровая наука» г. Саратов 2023 г.
10. Филиппенко, И.В. Модели автоматизированного проектирования технологического процесса сборки / И.В. Филиппенко, В.В. Евсеев, С.С. Милютин // Технологический аудит и резервы производства. — 2015. — Т. 1, № 2(21). — С. 4–8. — DOI 10.15587/2312–8372.2015.37007.

© Рожков Дмитрий Андреевич (Digirus.rojkov.1505@yandex.ru); Новоселова Ольга Вячеславовна (ol.novoselova@stankin.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ ОБЛАЧНОЙ СИСТЕМЫ С УГРОЗАМИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

MATHEMATICAL MODELING OF A CLOUD SYSTEM COLLIDING WITH CYBERSECURITY THREATS

A. Tonkikh
E. Avksenteva

Summary. The work analyzes the security of information systems in cloud environments based on mathematical modeling of conflict systems. We consider a model developed based on the hybrid automata method, which allows us to assess the security of information in a cloud system. In this paper, we will focus on describing methods for assessing information security in a cloud system to conduct a comprehensive assessment of information security.

Keywords: conflict, model, hybrid machine, probability, cloud, intruder.

Тонких Андрей Сергеевич

аспирант, Национальный
исследовательский университет ИТМО
astonkikh@mail.ru

Авксентьева Елена Юрьевна

кандидат педагогических наук, доцент, Национальный
исследовательский университет ИТМО

Аннотация. В работе проводится анализ безопасности информационных систем в облачных средах на основе математического моделирования конфликтных систем. Рассматривается модель, разработанная на основе метода гибридных автоматов, которая позволяет оценить безопасность информации в облачной системе. В данной работе мы сосредоточимся на описании методов оценки безопасности информации в облачной системе для проведения комплексной оценки защищенности информации.

Ключевые слова: конфликт, модель, гибридный автомат, вероятность, облако, нарушитель.

Введение

Исследования в области теории конфликта направлены на создание концептуальной модели, которая связывает объекты и факторы и способствует пониманию поведения сторон в условиях конфликтных взаимодействий [1]. В работе конфликт представлен графом, в котором описываются действия, происходящие в системе, и условия перехода между ними. Существует множество подходов к математическому моделированию конфликта систем, включая сети Петри, теорию игр, теорию активных систем, вероятностные сети и теорию динамических систем [2–5]. Один из подходов — использование полумарковских случайных процессов (ПСП) [6–8], однако, этот метод требует знания плотностей распределения вероятностей времени нахождения систем в состояниях. В данной работе описан расширенный метод использования формализма гибридных автоматов [9] для более точной оценки защищенности информации путём моделирования конфликта коалиций систем, а именно описание конфликта с системой нарушителей безопасности. Пример применения имитационного моделирования для оценки безопасности информации в облачной информационной системе рассмотрен в работе [10].

Определение минимальной вероятности успеха сторон в конфликте

Для работы с предложенной в работе [11] моделью нужно определить виды плотностей распределения вероятностей для момента времени, когда компоненты си-

стемы облака и система нарушителей пребывают в группах состояний. Необходимо использовать уникальные соотношения, которые позволят учесть особенности конкретной системы и сценария конфликта. Эти соотношения должны быть определены на основе анализа данных о поведении компонентов системы облака и системы нарушителей в различных условиях:

$$\begin{aligned} x(t) &= (\tau(t), r(t), u(t))^T = f(x(t_{k-1}), t), \\ t_{k-1} &= t_{inp}, \quad x(t_{k-1}) = (\tau_k, r_k, t_{k-1} + \tau_k)^T \\ (\tau_k, r_k)^T &: P_{A(BC)k}(\tau, r) = P_{A(BC)k}(r / \tau) P_{A(BC)k}(\tau), \quad (1) \\ \tau(t) &= \tau_k, \quad r(t) = r_k, \quad u(t) = u(t_{k-1}) - t, \\ t &\geq t_{k-1}, \quad t_{out} = t_k = t : I(u(t) = 0), \end{aligned}$$

Так как нет необходимого обоснования для выбора вида распределений для локального поведения в том или ином состоянии [17, 18, 20], предлагается использовать общие параметры для оценки вероятностей победы в конфликте, такие как математическое ожидание и дисперсия. Для точного определения вероятности появления новых уязвимостей в системе рассмотрим модель пуассоновского стационарного потока событий с ограниченным последствием. Эта модель предполагает, что процессы открытия и неоткрытия новых уязвимостей могут быть описаны с помощью плотности распределения интервала между событиями. В этом случае распределение времени t_0 появления уязвимости на заданном интервале времени может быть определено следующим образом.

$$P_T(t_0 / V) = \frac{P_T(t_0, V)}{P_T(V)} = \begin{cases} T^{-1}, t_0 \in [0, T], \\ 0, t_0 \notin [0, T]. \end{cases}$$

В данном случае модель пуассоновского стационарного потока событий с ограниченным последствием позволяет получить надёжные и точные результаты, подтверждающие равномерное распределение времени открития уязвимости на интервале $[0, T]$.

Анализ вероятности успеха атаки в условиях, когда нарушители не имеют информацию о новых уязвимостях

Вычислим общее время пребывания в состояниях группы $B (B_{0'}, B_{11'}, B_{12'}, B_{21'}, B_{22'})$ в ситуации, когда новая уязвимость не была обнаружена:

$$\tau_{B1} = \tau_{B0} + \tau_{B11} + \sum_{i=1}^{N_{22}} \sum_{j=1}^{N_{12,i}} (\tau_{B12,i,j} + \tau_{BC13,i,j}) + \sum_{i=1}^{N_{22}} \tau_{B22,i} + \sum_{i=1}^N (\tau_{B22,i} + \tau_{BC23,i}), \quad (2B)$$

где $N_{22} \in \{1.2...., \infty\}$ — случайное значение, обозначающее число итераций в группе состояний $B_{21'}, B_{12'}, B_{22'}, C_{21'}, C_{22'}, BC_{13}, BC_{23}$; $N_{12} \in \{1.2...., \infty\}$ — случайное значение, обозначающее число итераций в группе состояний $B_{12'}, C_{12}$. При неудачном поиске уязвимости с помощью автоматов, длительности выполнения работ на каждом цикле повторения могут быть описаны случайными величинами. Обозначим $\tau_{B12,i,j}, \tau_{B21,i}, \tau_{B22,i}, \tau_{BC13,i,j}, \tau_{BC23,i}$ как длительность выполнения работ на j -ом цикле повторения и на i -ом.

Количество итераций работы N_{22} и N_{12} определяется так же и тем, что происходило в другом автомате. Таким образом, ожидается, что число циклов будет меньше для каждого автомата, чем в случае работы только одного автомата.

Для автомата С справедливо:

$$\tau_{B1} = \tau_{B0} + \tau_{B11} + \sum_{i=1}^{N_{22}} \sum_{j=1}^{N_{12,i}} (\tau_{B12,i,j} + \tau_{BC13,i,j}) + \sum_{i=1}^{N_{22}} \tau_{B22,i} + \sum_{i=1}^N (\tau_{B22,i} + \tau_{BC23,i}), \quad (2C)$$

С учётом (2B), (2C) считая заданными вероятности успешного завершения работы $P_{B12} = p_{bd}, P_{B22} = p_{bv}, P_{C12} = p_{cd}, P_{C22} = p_{cv}$ после пребывания в состояниях $B_{12} \in Q_{B1}^L, B_{22} \in Q_{B2}^L, C_{12} \in Q_{C1}^L, C_{22} \in Q_{C2}^L$ запишем выражение для условной плотности распределения τ_b (для рассматриваемого события \bar{V}):

$$P_{BC} \left(\frac{\tau_{BC}}{V} \right) = P_{B1}(\tau_{B,1}) + P_{C1}(\tau_{C,1}) - P_{B1}(\tau_{B,1})P_{C1}(\tau_{C,1}) \\ P_{B1}(\tau_{B,1}) = \sum_{\{N_{12}, N_{22}\}} P(N_{12}, N_{22}) P_{B1}(\tau_{B,1} / N_{12}, N_{22}) = (3) \\ = \sum_{N_{22}=1}^{\infty} \sum_{N_{12}=1}^{\infty} (1 - p_{bd})^{N_{12}-1} p_{bv} P_B(\tau_{B,1} / N_{12}, N_{22})$$

Для С1. В соотношении из (1) $P_{B1}(\tau_{B,1} / N_{12}, N_{22})$ присутствует свёртка плотностей распределения, которая описывает композицию случайных величин (2) для данного условия, заданного вектором $N = (N_{12}, N_{22})^T$, где компоненты определяют число итераций в состояниях.

Для описания распределения вектора N в (3) используется выражение:

$$P(N_{12}, N_{22}) = P(N_{12})P(N_{22}), P(N_*) = (1 - p_{b*})^{N_*-1} p_{b*}. \\ \sum_{N_*=1}^{\infty} P(N_*) = \frac{p_{b*}}{1 - (1 - p_{b*})} = 1 \quad (4)$$

Чтобы произвести вычисления, опираясь (3), (4) необходимо использовать численные методы приближения. Для предложенной модели нужно использовать выражение $P_B(\tau_B / \bar{V}), P_C(\tau_C / \bar{V})$ для системы нарушителей определить вероятность:

$$P_B^{(1)} = \Pr(\tau_{B,1} < T) = \int_0^T P_B(u / \bar{V}) du. \quad (5)$$

Из этого можно сделать вывод, что в рамках рассматриваемой ситуации результат конфликта не зависит от работы защищаемой стороны.

Чтобы получить граничную оценку вероятности (5), используя $P_{B1}(\tau_{B,1}) = P_B(\tau_B / \bar{V})$, найдём условное мат. ожидание $m_{B,1} = M[\tau_{B,1}]$ и дисперсию $d_{B,1} = D[\tau_{B,1}] = M[(\tau_{B,1} - m_{B,1})^2]$ для $\tau_{B,1}$ на основе (2).

С помощью (2)–(4), получим выражения для условного математического ожидания $m_{B,1}(C)$ и безусловного математического ожидания $m_{B,1}$:

$$m_{B,1}(N) = M[\tau_{B,1} / N] = \\ = m_{B\tau0} + m_{B\tau11} + N_{22}N_{12}(m_{B\tau12} + m_{BC\tau13m}) + \\ + N_{22}m_{B\tau21} + N_{22}(m_{B\tau22} + m_{BC\tau23}), \quad (6) \\ m_{B,1} = M[\tau_{B,1}] = m_{B\tau0} + m_{B\tau11} + \\ + \frac{m_{B\tau12} + m_{BC\tau13}}{P_{bv}P_{bd}} + \frac{m_{B\tau21}}{P_{bv}} + \frac{m_{B\tau22} + m_{BC\tau23}}{P_{bv}}$$

Получим выражение для $d_{B,1}$:

$$d_{B,1}(C) = M \left[\frac{\tau_{B,1} - m_{B,1}^2}{N} \right] = \\ = d_{B\tau0} + d_{B\tau11} + N_{22}N_{12}(d_{B\tau12} + d_{BC\tau13}) + \\ + N_{22}d_{B\tau21} + N_{22}(d_{B\tau22} + d_{BC\tau23})$$

и представляя безусловную дисперсию как:

$$d_{B,1} = M[(\tau_{B,1} - m_{B,1})^2] = \\ = \sum_{\{N_{12}, N_{22}\}} P(N_{12}, N) \int (\tau_{B,1} - m_{B,1})^2 P(\tau_{B,1} / N_{12}, N_{22})$$

окончательно получим:

$$d_{B,1} = d_{B\tau 0} + d_{B\tau 11} + \frac{d_{B\tau 12} + d_{BC\tau 13}}{p_{bv} p_{bd}} + \frac{d_{B\tau 21}}{p_{bv}} + \frac{d_{B\tau 22} + d_{BC\tau 23}}{p_{bv}} \quad (7)$$

Для оценки вероятности события $\tau_{B,1} < T$ используем неравенство Чебышева, где $m_{B,1} < T$. Ограничим нижний диапазон значений для неравенства для определения нижней границы, достигнув которую сторона считается победившей:

$$P_{Bch}^{(1)} = \Pr[\tau_{B,1} < T] = \Pr[\tau_{B,1} - m_{B,1} < T - m_{B,1}] \geq \Pr[|\tau_{B,1} - m_{B,1}| < T - m_{B,1}] \geq 1 - \frac{d_{B,1}}{(T - m_{B,1})^2} \quad (8)$$

Уточним оценку, используя неравенство Высоцатско-Петунина:

$$P_{Bvp} = \Pr[\tau_{B,1} < T] \geq \Pr[|\tau_{B,1} - m_{B,1}| < T - m_{B,1}] = \Pr\left[|\tau_{B,1} - m_{B,1}| < \frac{T - m_{B,1}}{\sqrt{d_{B,1}}} \sqrt{d_{B,1}}\right] \geq 1 - \frac{4}{9\rho^2} = 1 - \frac{4d_{B,1}}{9(T - m_{B,1})^2}, \rho = \frac{T - m_{B,1}}{\sqrt{d_{B,1}}} \geq \sqrt{\frac{8}{3}} = 1,6329 \quad (9)$$

Для системы С:

$$P_{Cvp} = \Pr[\tau_{C,1} < T] \geq \Pr[|\tau_{C,1} - m_{C,1}| < T - m_{C,1}] = \Pr\left[|\tau_{C,1} - m_{C,1}| < \frac{T - m_{C,1}}{\sqrt{d_{C,1}}} \sqrt{d_{C,1}}\right] \geq 1 - \frac{4}{9\rho^2} = 1 - \frac{4d_{C,1}}{9(T - m_{C,1})^2}, \rho = \frac{T - m_{C,1}}{\sqrt{d_{C,1}}} \geq \sqrt{\frac{8}{3}} = 1,6329$$

Для работы одного автомата:

$$P_{Bvp} \geq \left(1 - \frac{4}{9\rho^2}\right) = 0,833$$

Общая же вероятность событий согласно теореме о сумме вероятностей совместных событий будет следующей:

$$P_{BCvp} = P_{Bvp} + P_{Cvp} - P_{Cvp}P_{Bvp} \geq 2\left(1 - \frac{4}{9\rho^2}\right) - \left(1 - \frac{4}{9\rho^2}\right) = 0,972$$

Полученная оценка даёт возможность сделать результат точнее при достаточном значении ρ .

Анализ вероятности успеха атаки, когда нарушители имеют информацию о новых уязвимостях

Опишем процесс получения оценки защищенности информации в облачной системе, когда на исследуемом интервале времени нарушители получают доступ к от-

крытой уязвимости. Введём уравнение для времени пребывания в состояниях системы нарушителей

$$B_0, B_{11}, B_{12}, B_{21}, B_{22}, C_0, C_{11}, C_{12}, C_{21}, C_{22}, BC_{13}, BC_{23}$$

Предположим также, что нарушители начинают эксплуатировать новую уязвимость, в условиях, когда пройдены состояния B_0, B_{11}, C_0, C_{11} и нарушитель к этому моменту ещё не нашёл уязвимость независимо от нахождения новой уязвимости. В таком случае время перехода в критическое состояние находится с помощью приведённых далее соотношений:

$$\left\{ \begin{aligned} \tau'_{B,2} &= \tau_{B0} + \tau_{B11} + \sum_{i=1}^{N_{22}} \sum_{j=1}^{N_{12,j}} (\tau_{B12,i,j} + \tau_{BC13,i,j}) + \\ &+ \sum_{i=1}^{N_{22}} \tau_{21,i} + \sum_{i=1}^{N_{22}} \tau_{22,i}, t_0 \in \Omega_0, \\ \tau''_{B,2} &= t_0 + \tau_{B21} + \tau_{B22} + \\ &+ N_v \left(\sum_{i=1}^{N_{22}} \sum_{j=1}^{N_{12,j}} (\tau_{B12,i,j} + \tau_{BC132,i,j}) + \right. \\ &\left. + \sum_{i=1}^{N_{22}} (\tau_{B22,i,j} + (\tau_{BC23,i})) \right), t_0 \in \Omega_1 \end{aligned} \right. \quad (9)$$

где τ_{B21}, τ_{B22} — интервалы времени работы в состояниях, отвечающих за анализ обнаруженной уязвимости и за использование найденной уязвимости, в момент времени t_0 после обнаружения;

$N_v \in \{0,1\}$ — значение, определяющее то, что нарушители использовали найденную уязвимость в t_0

$$\Omega_0 = [0 < \tau_{B0} + \tau_{B11}] \cup [\tau'_{B,2}, T] \text{ — временные интервалы, когда найденная уязвимость не используется и используется соответственно.}$$

Временной диапазон, в который нарушители могут использовать найденную уязвимость, определяется исходя из математических ожиданий

$$m_i = \min(t_0) = \min(M[\tau_{B0} + \tau_{B11}]),$$

$$M[\tau_{C0} + \tau_{C11}], m_A = \max(t_0) = \max(M[\tau'_{B,2}], M[\tau'_{C,2}])$$

В случае, когда найденная уязвимость не была закрыта компонентами системы облака до конца времени $\tau_{B21} + \tau_{B22}, \tau_{C21} + \tau_{C22}$ выполняется неравенство:

$$t_0 + \min(\tau_{B21} + \tau_{B22}, \tau_{C21} + \tau_{C22}) < t_0 + \tau_{A21} + \sum_{t=1}^{q_{22}} \tau_{A22,t} \quad (10)$$

где $q_{22} \in \{1,2,\dots,\infty\}$ — случайное значение, отвечающее за число циклов работы в состоянии A_{22} .

В случае, когда найденная уязвимость не закрыта, нарушитель может использовать уязвимость с вероятностью p_{bv} или с вероятностью $1 - p_{bcv}$ вернуться в состояние B_{12}, C_{12} .

Получим выражение для плотности распределения времени $\tau_{B,2}$, а также первых двух моментов этого распределения при фиксированном значении t_0 . Пусть $t_0 \in \Omega_0$, тогда

$$P_B(\tau_B / V, t_0 \in \Omega_0) = P_{B21} \left(\frac{\tau'_{B,2}}{t_0 \in \Omega_0} \right) = \sum_{\{N_{12}, N_{22}\}} P(N_{12}, N_{22}) P_{B2}(\tau'_{B,2} / N_{12}, N_{22}) = \sum_{N_{22}=1}^{\infty} \sum_{N_{12}=1}^{\infty} (1 - p_{bd})^{N_{12}-1} p_{bd} (1 - p_{bv})^{N-1} p_{bv} P_{B2}(\tau'_{B,2} / N_{12}, N_{22}). \quad (11)$$

Так же для автомата С.

Пусть $t_0 \in \Omega_0$, тогда для плотности распределения $\tau_{B,2}$ можно представить в виде, где для B и C :

$$P_B(\tau_B / V, t_0 \in \Omega_1) = P_{B22}(\tau''_{B,2} / t_0) = P_{B22}(\tau''_{B,2} / v_a, t_0) P(v_a) + P_{B22}(\tau''_{B,2} / v_b, t_0) P(v_b), \quad t_0 \in \Omega_1, P(v_a) = \Pr(\delta_{ba} \geq 0), P(v_b) = \Pr(\delta_{ba} < 0), \quad (12)$$

$$\delta_{ba} = \tau_{B21} + \tau_{B22} - \tau_{A21} + \sum_{t=1}^{q_{22}} \tau_{A22,t}$$

где v_a — обозначает, что уязвимость была закрыта компонентами системы облака до того, как суммарное время $\tau_{B21} + \tau_{B22}$ закончилось с вероятностью в $P(v_a)$;

v_b — обозначает, что компоненты системы облака находятся в незащищённом от уязвимости состоянии с вероятностью в $P(v_b)$. Очевидно, что, следуя (10), выполняется:

$$v_a : \tau_{bv} = \tau_{B21} + \tau_{B22} \geq \tau_{av} = \tau_{A21} + \sum_{t=1}^{q_{22}} \tau_{A22,t} v_b : \tau_{bv} = \tau_{B21} + \tau_{B22} < \tau_{av} = \tau_{A21} + \sum_{t=1}^{q_{22}} \tau_{A22,t} \quad (13)$$

Неравенства (13) определяют, что взаимодействие между компонентами системы облака и нарушителем конфликтно. Учитывая введённые обозначения для (12), получим:

$$P_{B22}(\tau''_{B,2} / v_a, t_0) = \sum_{N_{22}=1}^{\infty} \sum_{N_{12}=1}^{\infty} (1 - p_{bd})^{N_{12}-1} p_{bd} (1 - p_{bv})^{N_{22}-1} p_{bv} P_{B2} * (\tau''_{B,2} / v_a, N_v = 1, N_{12}, N_{22}, t_0), \quad (14a)$$

$$P_{B22}(\tau''_{B,2} / v_b, t_0) = p_{bv} P_{B2} \left(\tau''_{B,2} = t_0 + \tau_{B21} + \frac{\tau_{B22}}{v_b}, N_v = 0, t_0 \right) + (1 - p_{bv}) \sum_{N_{22}=1}^{\infty} \sum_{N_{12}=1}^{\infty} (1 - p_{bd})^{N_{12}-1} p_{bd} (1 - p_{bv})^{N_{22}-1} p_{bv} P_{B2} * (\tau''_{B,2} / v_b, N_v = 1, N_{12}, N_{22}, t_0). \quad (14b)$$

В результате, на основе полученных соотношений можно оценить вероятность выигрыша при фиксированных границах областей Ω_0, Ω_1 для t_0 как:

$$P_B^{(2)} = \Pr(\tau'_{B,2} < T / t_0 \in \Omega_0) P(t_0 \in \Omega_0) + \Pr(\tau''_{B,2} < T / t_0 \in \Omega_1) P(t_0 \in \Omega_1), \quad (15)$$

$$\Pr(\tau'_{B,2} < T / t_0 \in \Omega_0) = \int_0^T P_{B21}(u / t_0 \in \Omega_0) du,$$

$$\Pr(\tau''_{B,2} < T / t_0 \in \Omega_1) = \Pr(\tau''_{B,2} < T / v_a, t_0 \in \Omega_1) P(v_a) +$$

$$+ \Pr(\tau''_{B,2} < T / v_b, t_0 \in \Omega_1) P(v_b) = \int_{\Omega_1} \frac{1}{V_{\Omega_1}} \int_{t_0}^T P_{B22}(u / t_0) du dt_0 =$$

$$\int_{\Omega_1} \frac{1}{V_{\Omega_1}} \int_{t_0}^T [P_{B22}(u / v_a, t_0) P(v_a) + P_{B22}(u / v_b, t_0) P(v_b)] du dt_0,$$

$$P(t_0 \in \Omega_0) = V_{\Omega_0} / (V_{\Omega_0} + V_{\Omega_1}), P(t_0 \in \Omega_1) = V_{\Omega_1} / (V_{\Omega_0} + V_{\Omega_1}),$$

где $V_{\Omega_0}, V_{\Omega_1}$ — размеры областей Ω_0, Ω_1 .

Для автомата С.

В (15) первое слагаемое для фиксированных Ω_0, Ω_1 рассчитывается или оценивается нижними границами так же, как и для события \bar{V} , на основе соотношений (3)–(10).

Второе слагаемое в (15) определяется с использованием распределений $P_{V22}(\tau''_{B,2} / v_a, t_0), P_{V22}(\tau''_{B,2} / v_b, t_0)$, описываемых выражениями (9), (14a) и (14b). При получении гарантированных оценок вероятности выигрыша для $P_{B22}(\tau''_{B,2} / v_b, t_0)$ можно ввести определённые приближения, которые упростят вычисления. При $p_{bv} = 1 - \epsilon$, где $\epsilon \geq 0$ выполняется:

$$P_{B22}(\tau''_{B,2} / v_b, t_0) \cong p_{bv} P_{B2}(t_0 + \tau_{vb} / v_b, C_v = 0, t_0)$$

и слагаемым при множителе $1 - p_{bv}$ при расчёте плотности в (14b) можно пренебречь.

При вычислении соответствующей составляющей вероятности $\Pr(\tau''_{B,2} < T / v_b, t_0 \in \Omega_1)$ в (15) для этой же плотности можно учесть, что в соответствие с (13) $v_b : \tau_{bv} < \tau_{av}$ и при вычислении второго интеграла использовать $P_{B22}(t_0 + \tau_{va} / v_b, C_v = 0, t_0)$.

Расчёт вероятностей событий $P(v_a) = \Pr(\delta_{ba} \geq 0), P(v_b) = \Pr(\delta_{ba} < 0)$ может быть

проведён стандартным образом на основе соотношений:

$$P(v_a) = \Pr(\tau_{av} \leq \tau_{bv}) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{\tau_{av}}(u) \left(\int_u^{\infty} P_{\tau_{bv}}(v) dv \right) du, \quad (16)$$

$$P(v_b) = \Pr(\tau_{av} > \tau_{bv}) = \int_{-\infty}^{\infty} P_{\tau_{bv}}(v) \left(\int_u^{\infty} P_{\tau_{av}}(u) du \right) dv,$$

где $P_{\tau_{av}}(u)P_{\tau_{bv}}(v)$ — соответствующие плотности распределения, получаемые как композиции плотностей для слагаемых в выражении для δ_{ba}

$$\delta_{ba} = \tau_{bv} - \tau_{av} = \tau_{B21} + \tau_{B22} - \tau_{A21} + \sum_{t=1}^{q22} \tau_{A22,t}.$$

Заключение

В результате, разработанная модель даёт возможность производить расчёт вероятности победы одной из сторон в конфликте, где конкурирующие стороны — группа нарушителей и облачная система. Модель состоит из трёх гибридных автоматов, где один — облако, два других — нарушители системы безопасности. Полученная система уравнений даёт возможность моделировать действия конкурирующих сторон для определённых допущений. Так же нужно сказать, что при моделировании конфликта есть возможность задавать любое количество нарушителей для оценки вероятности их победы.

ЛИТЕРАТУРА

- Grzyl B., Apollo M., Kristowski A. Application of game theory to conflict management in a construction contract //Sustainability. — 2019. — Т. 11. — №. 7. — С. 1983.
- Гончаров А.А. и др. Развитие методов и построение алгоритмов поиска и классификации деструктивного контента, циркулирующего в социальной сети // Информатика и безопасность. — 2019. — Т. 22. — №. 3. — С. 345–360.
- Губанов Д.А., Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Модели репутации и информационного управления в социальных сетях //Управление большими системами: сборник трудов. — 2009. — №. 26–1. — С. 209–234.
- Коцыняк М.А. и др. Методика оценки защищенности информационно-телекоммуникационной сети в условиях информационного противодействия // Радиолокация, навигация, связь. — 2017. — С. 83–89.
- Вакуленко А.А., Шевчук В.И. Математическая модель динамики конфликта радиоэлектронных систем //Радиотехника. — 2011. — №. 1. — С. 56–59.
- Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Теоретические основы радиоэлектронной разведки. 2-е изд, испр, и доп. (1-е издание «Информационное обеспечение радиоэлектронных систем в условиях конфликта») — М. «Радиотехника», 2004–432 с.
- Андреещев И.А., Будников С.А., Пиндус Я.М. Полумарковская модель оценки надежности функционирования информационно-телекоммуникационных систем в органах внутренних дел //Охрана, безопасность, связь. — 2016. — №. 1–2. — С. 41–48.
- Вялых А.С., Вялых С.А. Динамика уязвимостей в современных защищенных информационных системах //Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2011. — №. 2. — С. 59–63.
- Сирота, А.А. Модели информационных процессов несимметричного конфликтного взаимодействия систем и их применение в задачах исследования безопасности использования облачных технологий / А.А. Сирота, Н.И. Гончаров // Вестник ВГУ (системный анализ и информационные технологии). — 2018. — № 3. — С. 103–118. URL — <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/analiz/2018/03/2018-03-12.pdf>
- Сирота А.А., Гончаров Н.И. Модели информационных процессов несимметричного конфликтного взаимодействия систем и их применение в задачах исследования безопасности использования облачных технологий //Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2018. — №. 3. — С. 103–118.
- Тонких А.С., Авксентьева Е.Ю. Математическая модель конфликта системы облака и нарушителей безопасности информации // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки — 2023. — № 6–2. — С. 160–163
- Сирота А.А., Гончаров Н.И. Исследование конфликта коалиций систем с использованием формализма гибридных автоматов //Вестник воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. — 2017. — №. 4. — С. 56–70.
- Смирнов А.В. и др. Онтологический подход к организации взаимодействия сервисов интеллектуального пространства при управлении гибридными системами //Искусственный интеллект и принятие решений. — 2014. — №. 4. — С. 42–51.
- Сирота А.А., Гончаров Н.И. Исследование конфликтных взаимодействий систем с использованием формализма гибридных автоматов //Математическое моделирование и информационные технологии в инженерных и бизнес-приложениях. — 2018. — С. 313–332.

© Тонких Андрей Сергеевич (astonkikh@mail.ru); Авксентьева Елена Юрьевна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДЫ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВНУТРЕННЕГО ТРЁХМЕРНОГО ОКРУЖЕНИЯ ДЛЯ ИММЕРСИВНЫХ СРЕД

THE METHODS OF PROCEDURAL GENERATION OF INTERNAL 3D ENVIRONMENT FOR IMMERSIVE SURROUNDING

A. Tsyganov

Summary. Due to the increasing complexity of 3D level design, this paper examines methods for procedural generation of internal environments for immersive surrounding, with a focus on creating believable environments in computer games. The result of the research is a developed algorithm that generates a realistic interior for three-dimensional rooms.

Keywords: three-dimensional environment, environment generation, algorithms, immersive surrounding, computer games.

Цыганов Александр Дмитриевич

Иркутский государственный университет
alexashalafe99@gmail.com

Аннотация. В связи с растущей сложностью дизайна трёхмерных уровней в данной работе рассматриваются методы процедурной генерации внутреннего окружения для иммерсивных сред, с фокусом на создание правдоподобной среды в компьютерных играх. Результатом исследования является разработанный алгоритм, генерирующий реалистичный интерьер для трёхмерных комнат.

Ключевые слова: трёхмерное окружение, генерация окружения, алгоритмы, иммерсивные среды, компьютерные игры.

Введение

Сложность задачи дизайна трёхмерных уровней возрастает из-за постоянно повышающихся визуальных стандартов к интерактивному контенту [1]. Это увеличивает нагрузку на дизайнеров уровней, которые вынуждены тратить больше времени на создание сцен окружения [2]. Помимо этого, процедурно сгенерированный контент часто выглядит слишком детерминированным, что приводит к потере достоверности, которая является особенно важным элементом в иммерсивных средах, например, компьютерных играх [3]. Поэтому возможность процедурно воссоздать правдоподобное трёхмерное окружение становится важным способом сэкономить ресурсы проекта [4].

Материалы и методы

Исследование в рамках работы состоит из двух частей.

1. Изучение существующих методов и алгоритмов в области процедурной генерации [5].
2. Разработка собственного алгоритма генерации внутреннего трёхмерного окружения.

Литературный обзор

Обзор действующих методов для генерации трёхмерного окружения в данной работе включает алгоритм древовидной генерации, «Шум Перлина» и алгоритм клеточного автомата [6].

Алгоритм древовидной генерации (Tree-Based Generation) использует древовидную структуру данных

для создания трёхмерного окружения [7]. Корень дерева представляет собой начальный объект, например куб или сферу. Каждый узел дерева соответствует поддереву, которое порождает дочерние узлы, рекурсивно генерируя более детализированные объекты [8].

Процесс генерации начинается с корня дерева и продолжается рекурсивно для каждого узла, до достижения установленного уровня детализации. На каждом уровне дерева применяется набор правил и процедур для модификации и дополнения объектов, что приводит к созданию более сложных и детализированных структур.

Преимущества использования данного метода.

- Генерация разнообразных структур, от простых до сложных, с высоким уровнем детализации.
- Иерархическая структура дерева позволяет управлять уровнем детализации сгенерированного окружения.
- Рекурсивный подход может эффективно генерировать сложные структуры с минимальными затратами вычислительных ресурсов.
- Проблемы и сложности, с которыми можно столкнуться при реализации:
- Алгоритм древовидной генерации может быть сложным в реализации и требует глубокого понимания структуры данных и рекурсивного программирования.
- Несмотря на гибкость, алгоритм может быть недостаточно гибким для создания реалистичных окружений с большим количеством деталей и разнообразием.

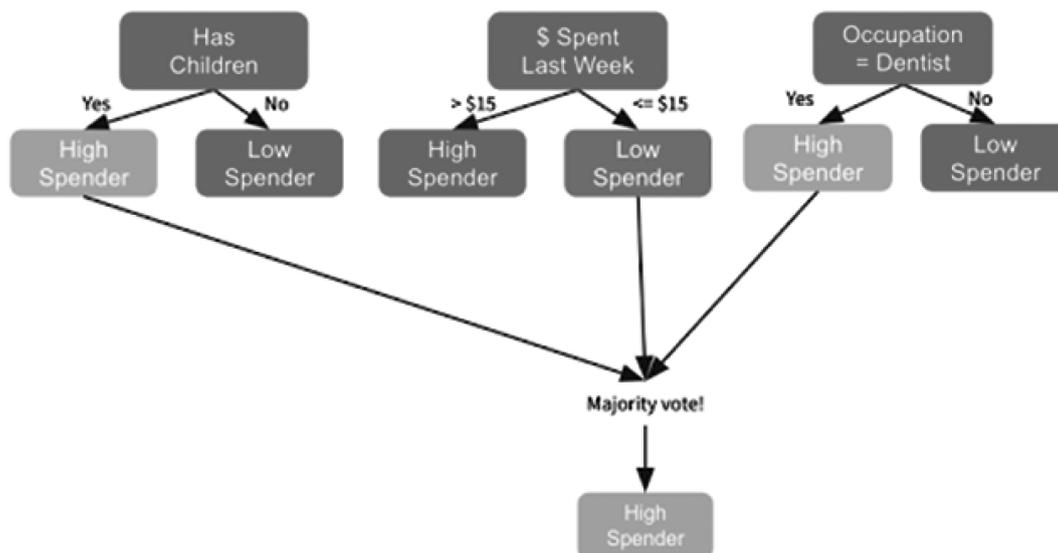


Рис. 1. Пример использования «дерева»

- Если правила генерации недостаточно сложны, то результаты могут быть повторяющимися и недостаточно уникальными.

Шум Перлина (Perlin Noise) — алгоритм, генерирующий случайные, но гладкие и непрерывные данные в многомерном пространстве. Он широко используется в компьютерной графике и игровой индустрии для создания реалистичных текстур, ландшафтов, облаков и других элементов окружения [9].

Алгоритм работает следующим образом:

1. создаётся регулярная сетка в многомерном пространстве;
2. в каждой точке сетки генерируется случайный вектор с единичной длиной;
3. для каждой точки в пространстве вычисляется значение шума с использованием интерполяции между векторными значениями в соседних точках сетки. Для интерполяции используется специальная функция сглаживания, которая обеспечивает плавный переход между значениями.

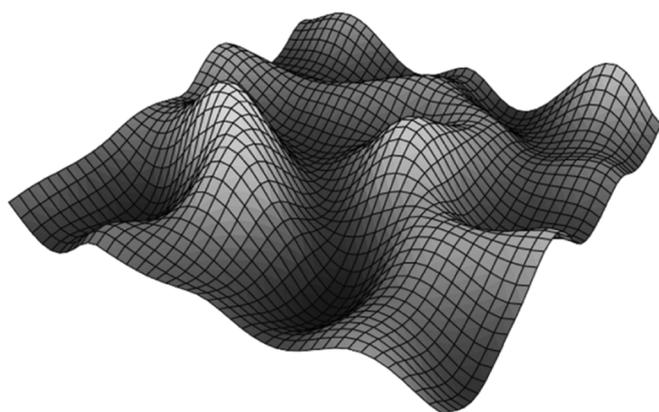


Рис. 2. Результат работы алгоритма

Основные преимущества данного метода.

- Шум Перлина является непрерывным, что обеспечивает гладкие переходы между значениями и делает его подходящим для генерации реалистичных структур.
- Алгоритм может быть периодическим, это позволяет создавать бесконечные повторяющиеся структуры, например текстуры.
- В алгоритме есть возможность настраивать параметры генерации, такие как частота, амплитуда и размер сетки, что позволяет создавать разнообразные структуры.

Проблемы и сложности, с которыми можно столкнуться при реализации.

- Шум Перлина может быть повторяющимся при больших масштабах.
- Алгоритм может быть недостаточно детализированным для создания сложных структур с большим количеством деталей.

Алгоритм клеточного автомата (Cellular Automata) — это вычислительная модель, основанная на дискретном пространстве и времени. Он использует сетку клеток, каждая из которых имеет свое состояние, и правила, которые определяют изменение состояния клеток в зависимости от состояния соседних [10].

Процесс генерации окружения с использованием клеточного автомата происходит по следующим шагам.

1. Создаётся сетка клеток в трёхмерном пространстве, каждой из которых назначается начальное состояние.
2. На каждом шаге времени для каждой клетки применяются правила, определяющие новое состояние клетки на основе состояния соседних.

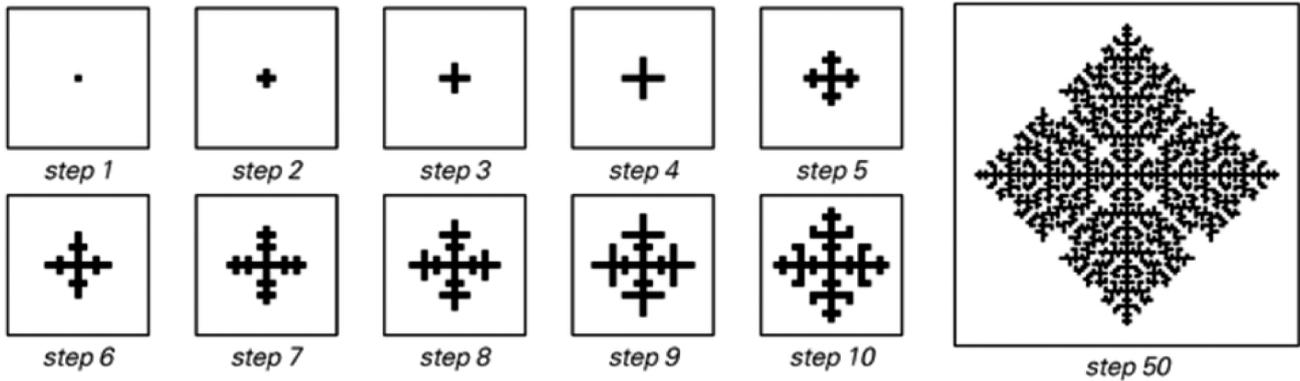


Рис. 3. Последовательность генерации

- Шаги 2 и 3 повторяются до достижения установленного уровня стабилизации или определённого числа итераций.

Преимущества использования данного метода.

- Алгоритм работает с дискретными данными (состояниями клеток), что делает его простым и эффективным.
- Изменения состояния клеток определяются локальными правилами, которые учитывают только состояние соседних клеток. Несмотря на простоту правил, алгоритм способен выдавать сложные и непредсказуемые структуры.
- Процесс генерации является итеративным, что даёт возможность создавать сложные структуры постепенным изменением состояния клеток.

Проблемы и сложности, с которыми можно столкнуться при реализации.

- Алгоритм клеточного автомата не всегда может точно контролировать форму и размер сгенерированных структур.
- Результаты генерации могут быть повторяющимися, если правила и начальное состояние недостаточно сложны.
- Для создания желаемых структур требуется тщательная настройка правил и начального состояния клеток.

Далее в работе идёт описание собственного алгоритма для генерации внутреннего трёхмерного окружения, разработанного с учётом анализа существующих решений.

Задача, поставленная перед алгоритмом: разместить в трёхмерном пространстве с заданными размерами (комната) готовые 3D-объекты (мебель) таким образом, чтобы итоговая сцена выглядела смоделированной вручную, то есть недетерминированной. Для реализации был выбран язык программирования C++. Тестирование алгоритма проводилось в игровом движке Unreal Engine 5.

Процесс работы алгоритма включает в себя следующие этапы.

- Предварительная подготовка: проводится пользователем вручную.
- Построение расчётной сетки плоскости (по входным данным).
- Расстановка объектов по сцене.

На первом этапе пользователю необходимо самостоятельно настроить для всех 3D-объектов такие данные как тип, приоритет и теги.

Тип объекта — это модель, характеризующая место расположения объекта в комнате. Возможен выбор одного из трёх типов.

- Near_the_wall — объект должен был расположен возле стены или на стене. Пример — шкаф, телевизор, подоконник и прочее.
- Large_size — крупногабаритный предмет, может располагаться в любой точке комнаты. Это, как правило, самые важные предметы для конкретной комнаты. Пример: диван для гостиной, кровать для спальни и прочие.
- Decoration — мелкие объекты окружения, которые будут расположены в последнюю очередь.

Далее задаётся приоритет размещения — числовое значение, характеризующее, насколько важно разместить данный объект в комнате. Пользователь определяет это числовое значение для каждого предмета интерьера на своё усмотрение. В этой части стоит также упомянуть, что при работе алгоритма возможны ситуации, когда не все объекты удаётся расположить в комнате с заданными входными параметрами. Это означает, что комната слишком маленькая и в ней невозможно уместить все требуемые объекты. В таких случаях алгоритм размещает объекты в зависимости от их приоритета.

Теги нужны для определения связей между объектами, за счёт них будет создаваться реалистичное окружение. Например, как мы знаем, зубную щётку принято

ставить на раковину для умывания или рядом с ней. В таком случае 3D-сцена будет выглядеть неорганично, если алгоритм решит, что щётку можно поставить посреди комнаты. Теги помогают определить связи, благодаря которым алгоритм поймёт, что объекты должны располагаться рядом.

Второй этап работы — построение расчётной сетки. Входными данными выступают числовые значения — размеры комнаты в метрах, их подаёт пользователь. Согласно этим числам, алгоритм создаст матрицу, которая нужна, чтобы помечать, какие ячейки уже заняты, а на какие можно поставить объект. По этим отметкам объектам будут присвоены соответствующие координаты для размещения на сцене.

Третий этап — непосредственная расстановка объектов согласно параметрам объекта (этап 1) и матрице доступности (этап 2). Для каждого предмета сначала просчитываются и записываются в массив все варианты расположения, а затем из них выбирается случайный. В соответствующие ячейки матрицы доступности ставятся отметки о том, что данные ячейки больше недоступны для размещения других объектов. Алгоритм продолжает работу по такому принципу до тех пор, пока не разместит на сцене все объекты.

Результаты

Данный алгоритм предлагает систематический подход к генерации внутреннего трёхмерного окружения, используя ручную настройку параметров объектов и матрицу доступности для определения их расположения.

К достоинствам данного алгоритма можно отнести.

- Гибкость: алгоритм позволяет пользователю настроить свойства каждого объекта, определяя его тип, приоритет и теги, что даёт большую степень контроля над результатом.

- Учёт ограничений: использование матрицы доступности позволяет учитывать размеры комнаты и препятствовать перекрытию объектов, что делает генерируемое окружение более реалистичным.
- Управление связями: система тегов помогает создавать отношения между объектами, что повышает правдоподобность генерируемого окружения.

К недостаткам алгоритма можно отнести.

- Ручная настройка.
- Ограниченная случайность: случайный выбор расположения объектов из predetermined набора может привести к однообразным результатам.

План по дальнейшей доработке алгоритма включает в себя добавление функции автоматической генерации параметров объектов, основанной на предварительно обученной модели.

Заключение

Итогом работы является анализ существующих методов генерации трёхмерного окружения, на основе которого был разработан собственный алгоритм для генерации внутреннего трёхмерного окружения для комнат, его планируется использовать для будущей компьютерной игры в жанре «Побег из комнаты». В этой игре описанный алгоритм будет использоваться для реализации механики изменения внутриигрового окружения. Алгоритм не только воссоздаёт правдоподобный интерьер, но и проверяет его на корректность, а также адаптируется под действия пользователя непосредственно в компьютерной игре. Данный алгоритм можно использовать в любых средах, где требуется генерация внутреннего трёхмерного окружения, например, для приложений по продаже недвижимости, где пользователь самостоятельно сможет создать дизайн интерьера желаемой квартиры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев Д. (2023). Процедурная генерация трехмерных окружений для иммерсивных среда. В: Материалы конференции «Информационные технологии и компьютерная графика» (с. 125–132).
2. Иванов А. (2022). Генерация виртуальных сред для иммерсивного обучения: новые подходы и возможности. В: Материалы конференции «Образование и технологии» (с. 258–265).
3. Кузнецов А.В. (2021). Методы процедурной генерации трехмерных окружений для игр. В: Материалы конференции «Игровые технологии и инновации» (с. 187–194).
4. Суханов А.А. (2020). Применение методов процедурной генерации для создания иммерсивных виртуальных сред. В: Материалы конференции «Виртуальная реальность и ее применение» (с. 312–319).
5. Колосов В.И. (2019). Использование искусственного интеллекта для процедурной генерации контента в иммерсивных средах. В: Материалы конференции «Искусственный интеллект и его применение» (с. 145–152).
6. Шакёр Н.С., Мадленер С., Фернандес А. (2015). Обзор процедурной генерации контента в играх. Визуальный компьютер, 31(6), 651–671.
7. Шакёр Н.С. (2014). Процедурная генерация уровней для компьютерных игр. (Кандидатская диссертация). Университет Портсмута.
8. Анхелес М.Х., Фернандес А.М. (2015). Генерация деревьев для процедурной генерации трехмерных сред. В: Процедурная генерация контента в играх (с. 193–210). CRC Press.
9. Перлин К. (1985). Генерация реалистичного рельефа с использованием шума Перлина. В: Заметки к курсу SIGGRAPH '85 (с. 15–22).
10. Анхелес М.Х., Фернандес А.М. (2006). Процедурная генерация уровней с использованием клеточных автоматов. Компьютеры и графика, 30(6), 1004–1012.

АЛГОРИТМ ВНЕДРЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ПО И ПЕРЕХОДУ К CONTINUOUS DEPLOYMENT

ALGORITHM FOR IMPLEMENTING AUTOMATED SOFTWARE TESTING AND TRANSITION TO CONTINUOUS DEPLOYMENT

A. Chumakova

Summary. The article presents a practical algorithm for the implementation of automated software testing in a project and the subsequent transition to a continuous release cycle of Continuous Deployment. The author notes that the integration of information technologies creates the basis for the effective operation of companies and directly affects their level of success in the market. Special attention is paid to the need for property organization of testing on the project to improve the quality of the software being developed and, accordingly, customer loyalty. The article discusses the practical aspects of the implementation of automated testing in the project and provides a detailed methodology for the transition to a continuous cycle of deployment — Continuous Deployment. The main problems that company face when implementing various information system testing technologies are also noted.

Keywords: information technology, software testing, test automation, Continuous Deployment, modern technologies.

Чумакова Анна Александровна

Ведущий QA инженер, ООО «ГК «Иннотех»
anna-a-chumakova@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен практический алгоритм по внедрению автоматизированного тестирования программного обеспечения в проект и последующий переход к непрерывному релизному циклу разработки Continuous Deployment. Автор отмечает, что интеграция информационных технологий создает основу для эффективной работы компаний и непосредственным образом влияет на уровень их успешности на рынке. Особое внимание уделяется необходимости правильной организации тестирования на проекте для повышения качества разрабатываемого программного обеспечения и, соответственно, лояльности клиентов. В статье рассматриваются практические аспекты внедрения автоматизированного тестирования в проекте, а также дается детальная методология по переходу к непрерывному циклу развертывания сборок в промышленную эксплуатацию — Continuous Deployment. Также отмечаются основные проблемы, с которыми сталкиваются компании при внедрении различных технологий тестирования информационных систем.

Ключевые слова: информационные технологии, тестирование программного обеспечения, автоматизация тестирования, Continuous Deployment, современные технологии.

Введение

Интеграция информационных технологий в различные аспекты человеческой деятельности создаёт предпосылки для формирования новых условий функционирования рынка, по этому компании, занимающиеся разработкой и внедрением программного обеспечения (ПО), очень востребованы в современном мире. В условиях рыночной экономики для большинства таких компаний ключевое значение приобретают повышение качества выпускаемого продукта и минимизация затрат на его разработку. Для достижения данных целей используется множество различных инструментов и технологий, самый популярный из которых является автоматизация тестирования разработанного продукта, несущий в себе неоспоримые плюсы: увеличение скорости и качества проверок за счет отсутствия человеческого фактора, широкое покрытие функционала, а также экономию бюджета за счет сокращения трудозатрат и времени на ручное тестирование. Но также имеются и минусы: актуализация авто-тестов требует больше трудозатрат, чем для ручного тестирования; авто-тесты проверяют только то, что заложено в коде, пропуская другие детали; риск необходимости частого обновления

авто-тестов при наличии большого количества нового функционала; дороговизна внедрения; невозможность автоматизации тестирования некоторых тест-кейсов.

Таким образом, вопрос, связанный с оправданностью внедрения автоматизированного тестирования программного обеспечения, остается открытым и дискуссионным, что обуславливает актуальность данной темы.

Алгоритм внедрения автоматизированного тестирования ПО и переходу к Continuous Deployment

Принимать решение о необходимости автоматизации тестирования необходимо на этапе старта проекта, но для этого нужно провести предварительный анализ. Обозначим критерии проекта, требующего автоматизации тестирования:

1. Регресс требует большого количества трудозатрат и времени;
2. Нет возможности отказаться от поддержки старых версий ПО;
3. Большой и долгий проект;
4. В ручных проверках прослеживается влияние человеческого фактора.

Если проекту характерны эти признаки, то, однозначно, автоматизация тестирования в нем оправдана и целесообразно использовать алгоритм внедрения процесса, описанный в данной статье.

На первый взгляд сделать это достаточно легко: после того как требования сформулированы, и разработка приступила к написанию кода, ручные тестировщики (Manual QA) готовят тестовую модель, а автоматизаторы (Automation QA) переносят часть тест кейсов во фреймворк. При этом компании хотят достичь максимального покрытия функционала авто-тестами, но даже при высоком уровне его достижения, в таком формате тесты остаются не стабильными и трудно поддерживаемыми, качество покрытия кода зачастую недостаточное. В итоге релизный цикл становится тяжело управляемым и неповоротливым. Сборки, которые, согласно scrum-методологии, выходят один раз в две недели, покрываются ручными регрессионными проверками и нестабильными авто-тестами, что в итоге создает хаос в проекте и порождает дефекты в среде промышленной эксплуатации (ПРОМ). Подобная практика наблюдается во всех больших корпорациях и является наиболее актуальной проблемой в сфере тестирования ПО.

Таким образом, можно выделить следующие проблемы, характерные для большинства крупных проектов, решив которые можно приблизиться к Continuous Deployment:

1. Медленный и сложный ручной регресс;

2. Отсутствие взаимодействия Automation QA с командой проекта;
3. Реальное тестирование возложено только на Manual QA;
4. Большое количество бесполезных, не стабильных сложно поддерживаемых авто-тестов, которые пишутся медленно и не помогают выявить дефекты.

Следующий алгоритм внедрения автоматизированного тестирования в проект позволяет избежать вышеописанных проблем:

1. Необходимо выстроить удобную систему отчетов и запусков авто-тестов;
2. Создать и запустить алгоритм автоматического запуска тестов на каждый коммит (в идеале, каждая часть функционала, каждая задача и история должны быть проверены авто-тестами);
3. Организовать слаженную работу всей команды — вовлечь Manual QA, Automation QA и разработчиков в тестирование (что бы каждый член команды умел тестировать тот функционал, за который он ответственен);
4. Сделать авто-тесты стабильными, быстрыми и простыми в их написании и поддержке.

Рассмотрим каждый шаг подробнее.

Шаг 1. Внедрение системы запуска авто-тестов и отчетности

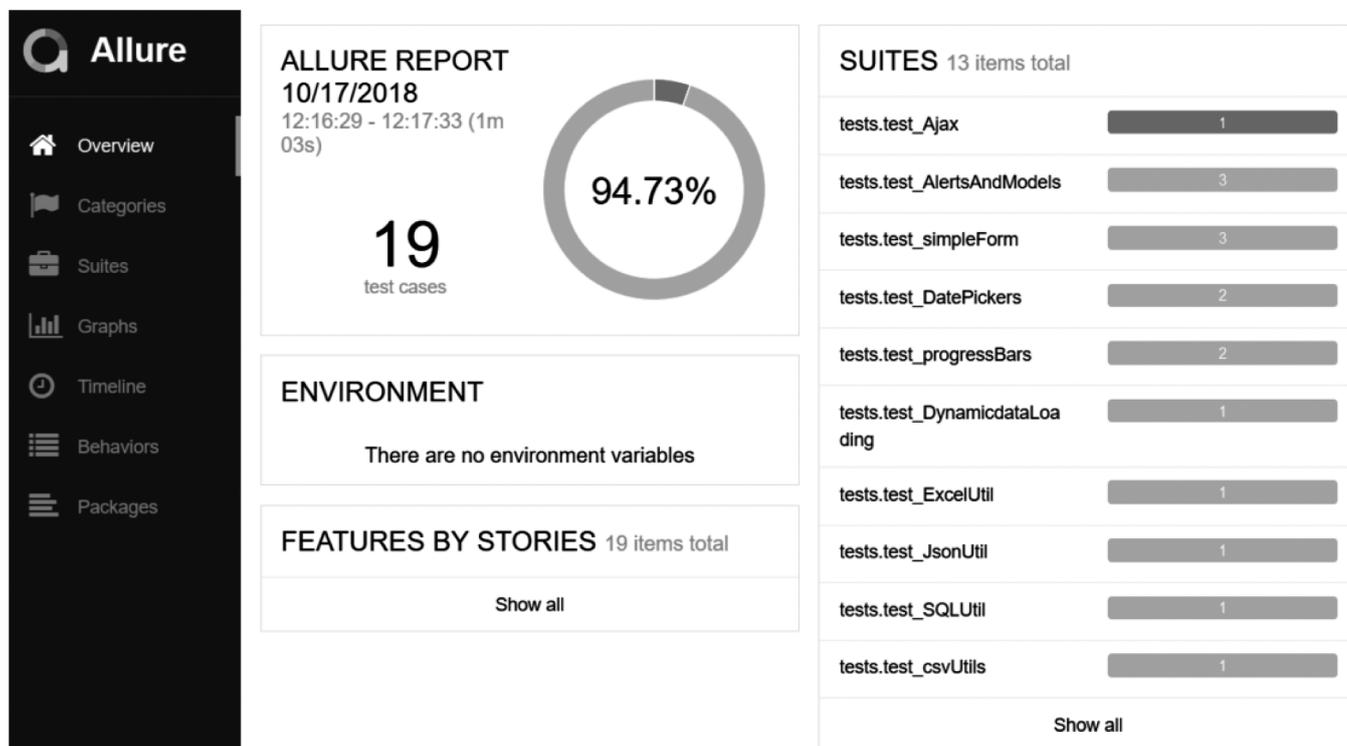


Рис. 1. Внешний вид системы отчетности Allure TestOps

Источник: официальный сайт системы Allure <https://qameta.io>

В первую очередь необходимо внедрить систему отчетов и запуска авто-тестов, например Allure TestOps, в которой можно хранить тест кейсы, запускать тест планы для разных сервисов и просматривать все прогоны в режиме онлайн:

В авто-тестах желательно добавить описания шагов что бы любой человек, даже далекий от кода смог понять, что там происходит, организовав таким образом максимальную прозрачность.

Для отслеживания падений авто-тестов добавить понятные сообщения об ошибках что бы сразу же можно было заводить дефекты и разбирать прогоны, не тратя лишнее время и не привлекая разработку на локализацию проблем.

Шаг 2. Каждый коммит обязательно должен быть проверен

Все должно выглядеть так: когда разработчик мержит свою задачу в мастер ветку, которая в последствии должна оказаться в ПРОМе, в первую очередь она должна установиться на тестовый стенд, быть проверена, а результаты отобразиться на дашборде (Messenger channel).

Схема выглядит следующим образом (см. рис. 2).

На схеме можно увидеть, что сервисы находятся в GitLab, и при мерже какого-либо из них запускается GitLab CI Pipeline который отдает всю информацию (о сервисе, о комите, об авторе этого коммита и другую) в «Autorun job», которая в свою очередь запускает джобу деплоя (Deploy job), а она в свою очередь результат обратно, и если он не успешный, то посылается сообщение в мессенджер и весь алгоритм останавливается. Если же все было хорошо и сервис успешно задеплоился, то происходит запуск авто-тестов в «Autotests run job», ее

результаты отправляются в определенный канал в мессенджере и так же передаются на дашборд (Messenger channel).

Шаг 3. Модификация команды

В типичном общераспространенном типе устройства команд каждый ее член автономно занимается своей функцией, коммуникации сведены к минимуму. Этот подход абсолютно не верен.

После внедрения новой системы отчетов, описанной на шагах выше, роли в команде изменяются: разработчики присоединяются к тестированию продукта, ручные тестировщики тестируют и передают свои знания, авто-тестеры помогают в регрессе.

Стоит подробнее отметить каким образом разработчики могут помочь в тестировании. У них так же есть тесты: unit тесты, которые могут сильно помочь в автоматической проверке функционала т. к. запускаются раньше, чем авто-тесты, они стабильнее и быстрее, но есть необходимость в их контроле и анализе их качества. Чаще всего покрытие unit-тестов очень ограничено и покрывает только максимально критичные вещи.

Таким образом, для увеличения качества покрытия функционала тестами можно выделить следующие пути и решения:

1. Совместное обсуждение функционала аналитиками, разработчиками и тестировщиками для лучшего понимания возможностей тестирования;
2. «Парный тест-дизайн» — встреча разработчиков (frontend и backend) и тестировщиков (Manual QA и Automation QA) по обсуждению кейсов по каждой задаче, их дополнение, исправление и распределение для исключения возможной повторной проверки и избыточности. На этом этапе,

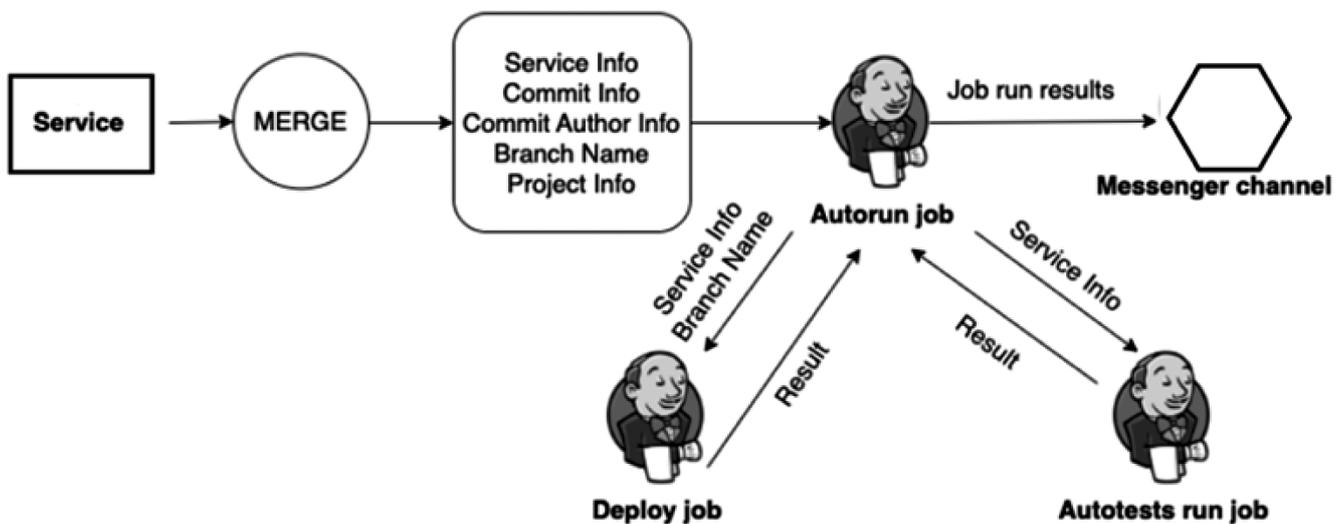


Рис. 2. Схема внедрения авто-тестирования в релизный цикл

перед совместным обсуждением, тестировщик предварительно описывает тест-кейсы, после чего происходит их распределение;

3. Ревью тест кейсов друг друга тестировщиками на предмет полноты проверок, и аналитиками на предмет правильности понимания работоспособности функционала;
4. Распределение тест кейсов и проверок по ролям: фронт разработчикам, бэк разработчикам, Manual QA, Automation QA для исключения дублей проверок.

Окончательный отказ от ручного регресса возможен в следующей схеме релизного цикла (см. рис. 3).

В схеме отражено:

Получение требований — первоначальный этап в процессе разработки нового функционала, которым занимается бизнес аналитик или системный аналитик, после завершения которого, готовые требования передаются команде в виде задач или других описаний.

Грумминг — разбор задачи — еженедельный созвон, где разбираются задачи на спринт и прописываются заметки для всех членов команды.

Написание тех дизайна — проектирование пользовательских веб-интерфейсов для интернет-ресурсов.

Парный тест дизайн — как уже было описано выше, это встреча разработчиков (frontend и backend) и тестировщиков (Manual QA и Automation QA) по обсуждению

кейсов, их дополнение, исправление и распределение между членами команды.

Разработка — непосредственное написание кода.

Проверка задачи unit тестами разработчиков и, при необходимости, написание новых unit тестов.

Merge функционала — это перенос кода программы из одной ветки в другую.

Проведение регрессионного тестирования авто-тестами.

Проверка задачи ручными тестировщиками.

Релиз в production — установка нового функционала в промышленную эксплуатацию.

Таким образом Quality Gates (автоматические проверки качества, которые устанавливают пороговые значения для продвижения продукта по конвейеру разработки) выглядят следующим образом (см. рис. 4).

Первым этапом к задаче формируются актуальные правильные требования, при необходимости проводится тех дизайн, парный тест-дизайн и описываются основные тест-кейсы, после чего она может быть передана в разработку. Перед мержем задачи проводится обязательное код-ревью, проходятся unit-тесты разработчиков. Далее запускаются авто-тесты регресса (при необходимости пишутся новые авто-тесты), а также проводится ручное тестирование нового функционала, после чего сборка устанавливается в ПРОМ.

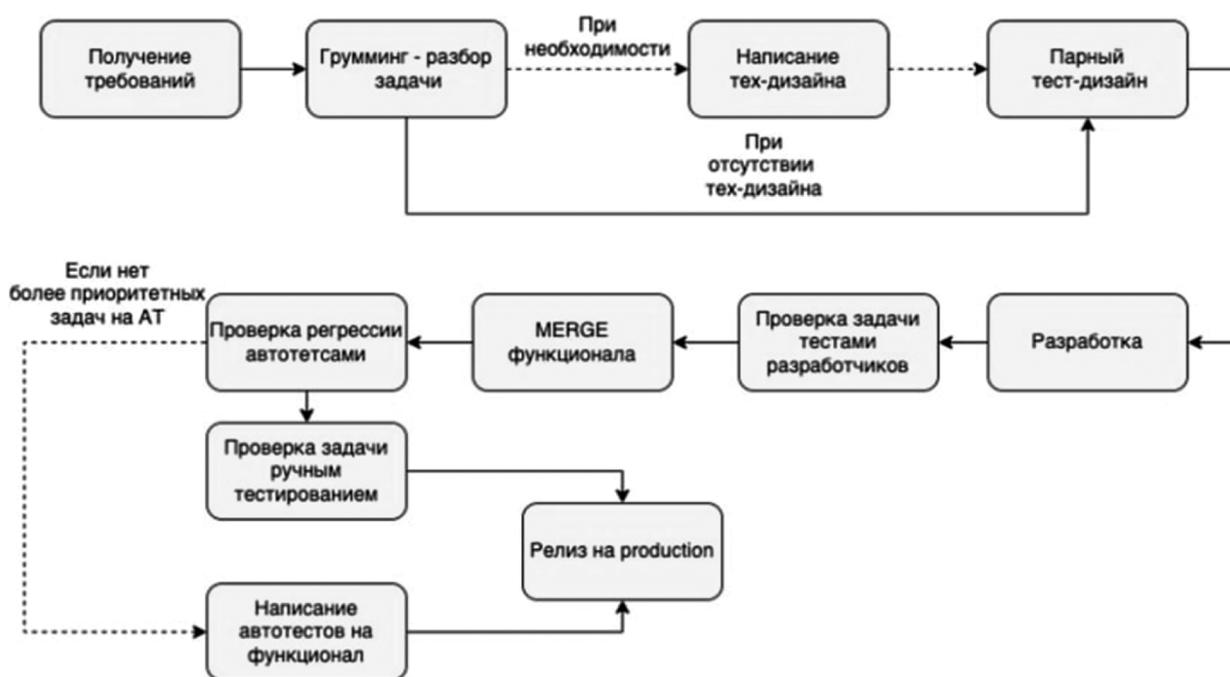


Рис. 3. Схема релизного цикла, исключая проведение ручного регресса

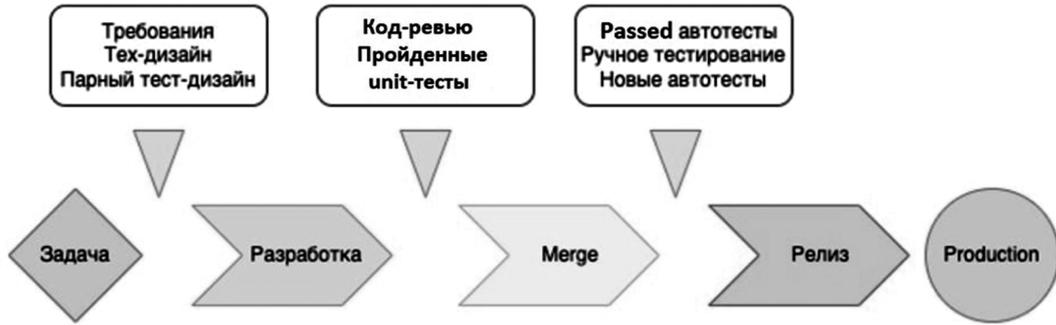


Рис. 4. Quality Gates в релизном цикле

Таким образом, Continuous Deployment получается двухэтапным: merge и deploy, что является идеальным вариантом релизного цикла для больших проектов.

Шаг 4. Сделать авто-тесты стабильными, быстрыми и простыми в их написании и поддержке

Далее рассмотрим, какие тесты и в каком распределении должны быть на проекте.



Рис. 5. Пирамида оптимального распределение тестовых проверок

На рисунке изображено правильное пирамидное тестирование, которое в основании имеет unit тесты: как UI, так и backend, где распределение может быть иным в зависимости от специфики функционала. В середине пирамиды имеются скриншотные UI-тесты и мок-интеграционные тесты бэкэндеров, и закрывает это все end-to-end (E2E) авто-тесты.

Итого, при внедрении в проект всех вышеперечисленных рекомендаций можно получить:

- Отсутствие ручного регресса и налаженные автоматические процессы релиза;
- Сплоченную команду и вовлеченных в процессы сотрудников;
- Тестирование системы всей командой, а не только Manual QA;
- Качественные, стабильные, легко поддерживаемые авто-тесты, которые являются универсальным инструментом тестирования.

При этом важно правильно внедрять авто-тесты и, что бы они приносили плоды и действительно помогали в работе, а не отнимали ресурсы команды, необходимо своевременно решать возникшие проблем и трудности. Следование рекомендациям из этой статьи гарантирует, что в проекте процесс авто-тестирования будет внедрен надлежащим образом, будет прозрачным и полезным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефимов С.Н. Проектирование вычислительной сети эффективной архитектуры для распределенного решения сложных задач / С.Н. Ефимов, В.В. Тынченко, В.С. Тынченко; под ред. проф. Г.П. Белякова // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета: сб. науч. тр. — Красноярск: СибГАУ. — 2007. — Вып. 3(16). — С. 36–41.
2. Попов И.И. Компьютерные сети / И.И. Попов, Н.В. Максимов. — М.: Форум, 2004. — 326 с.
3. Datasheet HOKUYO URG [Electronic resource]. — Access mode: https://www.hokuyo-aut.jp/dl/Specifications_URG-04LX_1513063395.pdf.

© Чумакова Анна Александровна (anna-a-chumakova@yandex.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ

Шарара Симбараше

Аспирант,

Московский государственный университет «СТАНКИН»

shackssharara@gmail.com

MATHEMATICAL MODEL OF THE CONCENTRATION DISTRIBUTION OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS IN 3D PRINTING

Sharara Simbarashe

Summary. The present study is devoted to the analysis of the distribution of harmful emissions of polymer volatile organic compounds arising in the process of three-dimensional printing. The relevance of this study is due to the development of this technology, which in several areas replaces the casting and stamping of polymer products, being at the same time more economical in terms of energy and resource costs. At the same time, due to the novelty of the technology, the effect of the volatile organic compounds formed on the human body and the environment has not been sufficiently studied. In connection with the above, there is a need to preventatively minimize the concentration of harmful emissions. The conducted research uses mathematical and simulation modeling methods used to build a predictive dynamic model that allows for operational control with the ability to compensate for the inertia of concentration sensors. As a result of the study, it is shown that the concentration of emissions decreases exponentially as a function of the distance from the place of application of the melt (extruder head) to the workpiece. It has been established that the maximum concentration has a minimum at an ambient temperature of 20 °C. The discussion of the results led to the formulation of a hypothesis about the feasibility of a closed system of predictive control of the concentration of harmful emissions, suitable for use as one of the contours of the print parameter control system.

Keywords: volatile organic compounds, 3d printing, concentration, diffusion, simulation, predictive management.

Аннотация. Настоящее исследование посвящено анализу распределения вредных выбросов полимерных летучих органических соединений, возникающих в процессе трехмерной печати. Актуальность настоящего исследования обусловлена развитием данной технологии, в ряде областей заменяющей литье и штамповку изделий из полимеров, являясь одновременно и более экономичной с позиций затрат энергии и ресурсов. При этом ввиду новизны технологии влияние образующихся летучих органических соединений на организм человека и окружающую среду в достаточной мере не изучено. В связи с вышесказанным возникает необходимость превентивной минимизации концентрации вредных выбросов. В проведенном исследовании использованы методы математического и имитационного моделирования, использованные для построения прогнозной динамической модели, позволяющей осуществлять оперативный контроль с возможностью компенсации инерционности датчиков концентрации. В результате исследования показано, что концентрация выбросов экспоненциально снижается в функции расстояния от места нанесения расплава на заготовку. Установлено, что максимальная концентрация имеет минимум при температуре окружающей среды 20 °C. Обсуждение результатов привело к постановке гипотезы о реализуемости замкнутой системы прогнозного управления концентрацией вредных выбросов, пригодной для использования в качестве одного из контуров системы управления параметрами печати.

Ключевые слова: летучие органические соединения, 3d-печать, концентрация, диффузия, имитационное моделирование, прогнозное управление.

Введение

На текущем этапе развития народного хозяйства как в РФ, так и в мире в целом, существует тенденция к замене операций литья и штамповки пластиковых изделий операцией послойной наплавки или напыления, получившей название трехмерной (3D) печати. Данный процесс, ввиду его большой временной продолжительности и высокой температуры, сопровождается постоянным испарением части наплавляемого материала в форме летучих органических соединений (ЛОС). Данные соединения могут оказывать негативное влияние на здоровье человека за счет прямой токсичности, инертности и абразивных свойств при осаждении.

Соответственно, необходимо принимать меры по контролю концентрации ЛОС в рабочей зоне оператора 3D-печати.

Литературный обзор

Проблема выбросов ЛОС при выполнении технических операций трехмерной печати является темой многих исследований, проводимых как отечественными, так и современными авторами. В работе [1] рассмотрены физико-химические процессы образования ЛОС и их количественного состава в зависимости от типа применяемого материала. Задача измерения концентрации ЛОС в окружающем воздухе подробно рассмотрена в работе

[2]. В данном исследовании рассмотрены основные типы датчиков ЛОС в воздухе и показано, что общей проблемой измерения информации о концентрациях является брутто-измерение количества летучих частиц в пробах воздуха, что приводит к значительной инерционности и погрешности, что затрудняет возможность формирования оптимальной стратегии организации процесса печати. В исследовании [3] рассмотрены подходы к математическому моделированию выбросов в атмосферу ЛОС в процессе печати. При этом учитываются показатели температуры и влажности воздуха в помещении, а также интенсивность приточно-вытяжной вентиляции. Проблемы влияния ЛОС на организм человека рассмотрены в работе [4].

На основании проведенного анализа литературных источников можем сделать вывод о необходимости формирования механизма обратных связей — наблюдателя — для применения в системе планирования процесса трехмерной печати.

Материалы и методы

При проведении исследования использованы методы математического и имитационного моделирования концентрации компонентов смесей в процессе изготовления деталей методом трехмерной печати. Анализ проводился на основе математической модели, структура которой приведена на рис. 1.

Предложенная на рис. 1 структурная схема отражает процесс динамического моделирования процесса диффузии на границе раздела расплав — атмосфера. При моделировании принято допущение, что компоненты ЛОС подчиняются закону Дальтона — общее давление, и как следствие, концентрация ЛОС в объеме атмосферного газа определяется суммой давлений отдельных компонентов. Соответственно, моделирование проводилось для отдельных компонентов, при этом, ввиду инертности большинства циклических углеводородов, входящих в состав материалов для 3D-печати, взаимными реакциями между компонентами можно пренебречь.

Из закона Фика следует, что скорость диффузии пропорциональна градиенту концентрации. Для одномер-

ного случая данный закон может быть записан в виде соотношения (1):

$$J = -C(P,T) \frac{dQ}{dx}, \tag{1}$$

где $C(P,T)$ — параметр скорости диффузии;

$\frac{dQ}{dx}$ — градиент концентрации на границе наплавленного слоя.

Скорость диффузии в общем случае является параметром, нелинейно зависящим от температуры окружающего воздуха и атмосферного давления в помещении. В случае приточно-вытяжной вентиляции, в общем случае можно считать зависимость линейной, поскольку в данном случае концентрации компонентов ЛОС поддерживаются на практически постоянном уровне.

Предложенная модель может быть проинтегрирована при различных начальных условиях с использованием различных численных методов, например, с помощью метода трапеций, реализованного, например, в среде моделирования Matlab/Simulink и использована для формирования выводов по распределению концентраций.

Результаты

Проведя моделирование при различных значениях температуры воздуха в помещении, в котором производится 3D-печать, получим динамические характеристики изменения концентрации ЛОС на расстоянии 0,5 м от места нагрева (на границе рабочей зоны 3D-принтера), показанные на рис. 2.

Как видим из результатов, приведенных на рис. 2, концентрация ЛОС достигает установившегося значения через 100 мин после начала процесса печати и нелинейно зависит от температуры. Минимум концентрации достигается при температуре 20 °С и составляет 0,016 ppm (частиц в кубическом метре объема). Данный эффект во многом обусловлен физико-химическими процессами на границе расплава, имеющими минимум активности

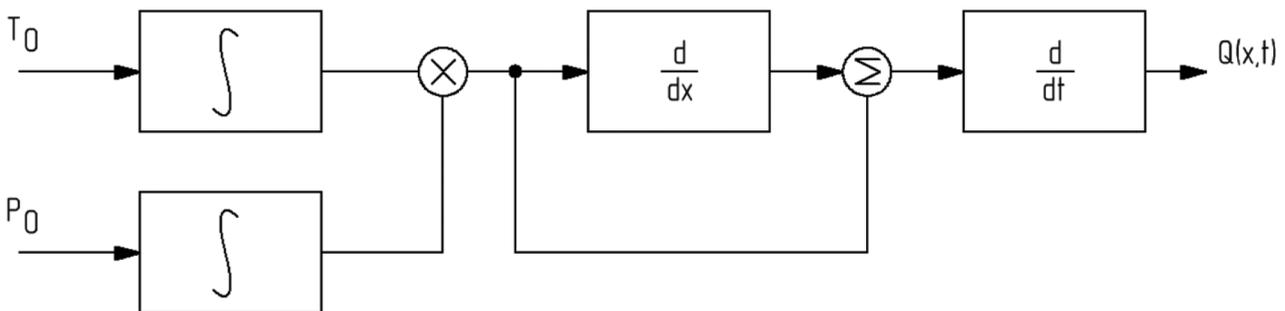


Рис. 1. Структурная схема модели распределения концентрации

при разности температур окружающей среды и поверхности расплава порядка 230 °С.

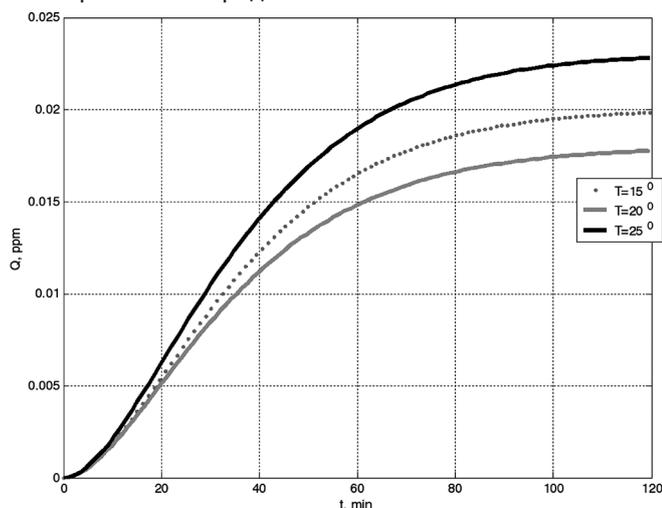


Рис. 2. Динамические характеристики изменения концентрации ЛОС

Распределение концентрации ЛОС в функции расстояния от границы плавления имеет экспоненциальный характер, что демонстрируется графиком рис. 3. Как видим из кривой распределения, на расстоянии 3 метра от места расплава концентрация ЛОС снижается до 0,0008 ppm, практически не оказывающей влияния на организм человека.

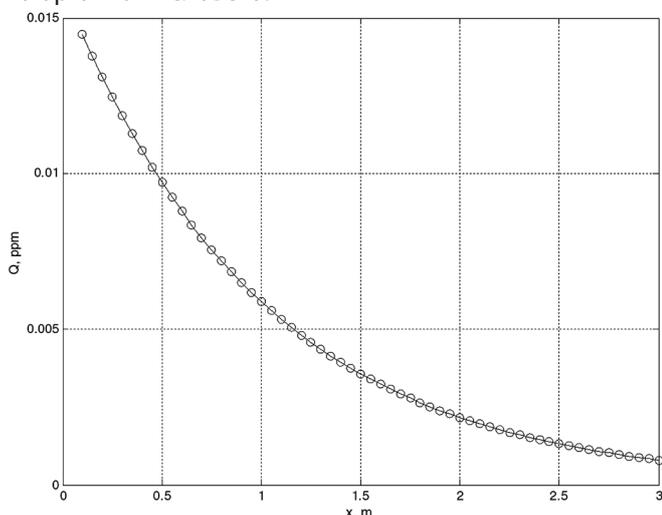


Рис. 3. Зависимость концентрации ЛОС от расстояния до места расплава

Обсуждение

Результаты проведенного исследования показывают, что на концентрацию ЛОС в окружающем воздухе оказывают влияние температура и расстояние до по-

верхности плавления. Соответственно, задача снижения концентрации может быть решена, помимо организации приточно-вытяжной вентиляции, путем стабилизации температуры в технологических помещениях. Необходимо отметить, что время установления концентрации составляет десятки минут в то время, как измерение параметров окружающего воздуха производится лабораторными методами, занимающими большее время, чем время изменения концентрации ЛОС. Соответственно, актуальной задачей является разработка замкнутых следящих систем стабилизации концентрации ЛОС, из которой вытекает задача разработки датчиков с малыми постоянными времени. Другим вариантом решения задачи снижения вредных выбросов является построение прогнозной системы адаптации параметров печати, в структуру которой вводится динамическая модель, аналогичная приведенной на рис. 1, позволяющая оценивать значение концентрации ЛОС в воздухе без непосредственного измерения. Управляющим воздействием в данном случае будет являться расход полимера для печати — изменение коэффициента заполнения заготовки. Снижение расхода полимера приводит к снижению общего количества расплава, таким образом, снижая концентрацию вредных выбросов. При этом необходимо учитывать, что снижение заполнения детали может приводить к недопустимому снижению прочности, в связи с чем выбор оптимального расхода полимера является оптимизационной многопараметрической задачей.

Заключение

В ходе настоящего исследования предложена имитационная модель распределения концентрации ЛОС в функции времени и расстояния до места расплава. Полученные результаты могут быть использованы при построении замкнутой системы оптимизации параметров печати, позволяющей контролировать концентрацию вредных выбросов в заданных условно-безопасных пределах. Также, приведенные в исследовании теоретические положения и практические результаты могут быть использованы для проектирования помещений для выполнения рассматриваемой технологической операции. Необходимо отметить, что результаты исследования не являются полностью исчерпывающими и требуют продолжения, связанного, в том числе, с исследованием влияния параметров печати и производительности работы системы приточно-вытяжной вентиляции, как управляющих параметров для концентрации ЛОС в помещении. Также, более детальному рассмотрению подлежат вопросы влияния качественного состава ЛОС на распределения концентраций и, как следствие, здоровье обслуживающего персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борзыкина Е.А. Качественный и количественный анализ выбросов при 3D (трёхмерной) печати / Е.А. Борзыкина, Э.О. Хетагурова // Вестник науки. — 2021. — Т. 5, № 5–1(38). — С. 106–111. — EDN CJPCP.
2. Чернышева Л.А. Обзор исследований влияния 3D-технологий на экологию / Л.А. Чернышева, И.Б. Пугачева // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Кострома, 04 апреля 2019 года. — Кострома: Костромской государственный университет, 2019. — С. 291–294. — EDN OQDTBR.
3. Влияние 3D-печати на человека и на окружающую среду / К.В. Гаршин, С.М. Некрасов, П.С. Белов, Д.Ю. Никифоров // Проблемы современной науки и инновации. — 2023. — № 4. — С. 66–70. — EDN DZXUQL.
4. Борзыкина Е.А. Оценка воздействия технологии 3D (трехмерной) печати на здоровье человека / Е.А. Борзыкина, Е.С. Навасардян // Будущее машиностроения России : тринадцатая Всероссийская конференция молодых ученых и специалистов (с международным участием) : сборник докладов : в 2 т., Москва, 22–25 сентября 2020 года / Союз машиностроителей России, Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). Том 1. — Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020. — С. 338–340. — EDN CVIWGK.

© Шарара Симбараше (shacksshara@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ВЫБОРА ВАРИАНТА ИНВЕСТИЦИЙ В МНОГОПРОФИЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

OPTIMIZATION OF THE MODEL FOR SELECTING INVESTMENT OPTIONS IN MULTIDISCIPLINARY PRODUCTION

**H. Shungarov
R. Botashev**

Summary. The problem of attracting investments today is a key issue in the development of modern domestic production. Effective use of investments is carried out through the selection and implementation of optimal investment projects. The article is devoted to the development of a modified economic and mathematical model for selecting the optimal investment project for a multi-industry production using stochastic and linear programming methods.

Keywords: investments, investment financing, financial transactions, investment project, probability, stochastic and linear programming, Boolean variable, payments, income, profit, profitability level.

Шунгаров Хамид Джашауевич

Кандидат физико-математических наук, доцент,
Карачаево-Черкесский государственный
университет имени У.Д. Алиева
hamidsh@rambler.ru

Боташев Руслан Азаматович

Доцент, Карачаево-Черкесский государственный
университет имени У.Д. Алиева
botashevruslan@mail.ru

Аннотация. Проблема привлечения инвестиций сегодня является ключевым вопросом развития современного отечественного производства. Эффективное использование инвестиций осуществляется через выбор и реализацию оптимальных инвестиционных проектов. Статья посвящена разработке модифицированной экономико-математической модели выбора оптимального проекта инвестиций для многопрофильного производства с использованием методов стохастического и линейного программирования.

Ключевые слова: инвестиции, финансирование инвестиций, финансовые операции, инвестиционный проект, вероятность, стохастическое и линейное программирование, булева переменная, выплаты, доход, прибыль, уровень рентабельности.

Планирование инвестиций является важным и сложным процессом. Сложность решения проблемы заключается в том, что при планировании инвестиций необходимо учитывать множество факторов, в том числе и непредвиденные (случайные), а также степень риска вложения инвестиций. Кроме этого, сложность заключается в том, что получение прибыли (дохода) от вложения инвестиций, как правило, носит вероятностный характер. Поэтому при планировании внесения инвестиций необходимо учитывать вероятность наступления случайного события — получение прибыли.

По нашему мнению, сегодня в условиях приоритетного отношения к развитию отечественного производства, наиболее выгодным является инвестирование производства, т. е. реальные инвестиции в расширение и техническое перевооружение производств предприятий.

Особую сложность представляет инвестирование многопрофильного производства, где каждое производство фирмы имеет различный уровень рентабельности из-за различий в уровне себестоимости и качества продукции. При этом в издержках каждого производства немалую долю занимают затраты на содержание оборудования различной степени изношенности и различной производительности и т. д. Учитывать все эти факторы при определении степени риска вложения инвестиций в каждое производство весьма затруднительно.

1. Постановка задачи

Рассмотрим постановку задачи инвестирования многопрофильного предприятия. Для этого введём следующие обозначения:

y_{ij} — прибыль, ожидаемая от инвестиций i -ой отрасли в j -й период,

$$i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m;$$

x_{ij} — затраты, ожидаемые от инвестиций i -ой отрасли в j -й период, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m;$

u_{ij} — доход, ожидаемый от инвестиций i -ой отрасли в j -й период,

a_j — чистая прибыль, ожидаемая от инвестиций i -ой отрасли в j -й период,

$$a_j = \frac{y_{ij}}{x_{ij}} = \frac{u_{ij} - x_{ij}}{x_{ij}} \text{ — прогнозируемый уровень рента-}$$

бельности i -ой отрасли в j -й период, $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$. Тогда рентабельности n производств в j -й период, $j = 1, 2, \dots, m$ выразим векторной целевой функцией (ВЦФ) $F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_n(x))$, частные критерии $F_k(x) \rightarrow \max$, которой, имеют вид:

$$F_k(x) = \frac{\sum_{i=1}^n y_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}}, \quad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где b_j — количество денежных средств, инвестируемых предприятием в i -ое производство в период $j = 1, 2, \dots, m$;

$$b_j \geq 0; x_{ij} \geq 0; b_j \geq 0; x_j = 0 \vee 1. \quad (3)$$

Проблема состоит в выборе такого вектора $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, который максимизирует ожидаемый уровень рентабельности каждого производства. Сформулированную задачу (1)–(3) будем называть векторной задачей инвестирования многопрофильного производства. Задача (1)–(3) в общей постановке является задачей линейного целочисленного булевого программирования и является NP-полной [1].

Решение сформулированной задачи намного упрощается, если задана таблица распределения значений для переменных x_{ij} и y_{ij} .

2. Описание алгоритма β

Алгоритм β начинает свою работу с того, что задаётся пороговое значение α_0 для уровня рентабельности i -го производства в период j . Алгоритм β состоит из этапов β_j , перенумерованных числами $j = 1, 2, \dots, m$. На этапе β_1

вычисляется значение $\alpha_1 = \frac{\sum_{i=0}^n y_{i,1}}{\sum_{i=0}^n x_{i,1}} = \frac{\sum_{i=0}^n u_{i,1} - x_{i,1}}{\sum_{i=0}^n x_{i,1}}$ и прове-

ряется условие: если $\alpha_1 \geq \alpha_0$, то значение α_1 включается в множество M и это значение считается допустимым; если $\alpha_1 < \alpha_0$, то значение α_1 считается недопустимым и не включается в множество M .

Предположим, что осуществлено β_k этапов алгоритма β и $|M| \leq k$. На этапе β_{k+1} вычисляется значение

$$\alpha_{k+1} = \frac{\sum_{i=0}^n y_{i,k+1}}{\sum_{i=0}^n x_{i,k+1}} = \frac{\sum_{i=0}^n u_{i,k+1} - x_{i,k+1}}{\sum_{i=0}^n x_{i,k+1}}. \quad \text{На каждом этапе } \beta_j$$

$j = k + 1, \dots, m$ алгоритма β проверяется условие: если $\alpha_{k+1} \geq \alpha_0$, то значение α_{k+1} включается в множество M и это значение считается допустимым, в противном случае — значение α_{k+1} считается недопустимым и не включается в множество M . На каждом этапе $\beta_j, j = k + 1, \dots, m$ алгоритма β вычисляется значение

$$\alpha_j = \frac{\sum_{i=0}^n y_{i,j}}{\sum_{i=0}^n x_{i,j}} = \frac{\sum_{i=0}^n u_{i,j} - x_{i,j}}{\sum_{i=0}^n x_{i,j}} \quad \text{и проверяется условие: если}$$

значение $\alpha_j \geq \alpha_0$, то α_j включается в множество M ; если $\alpha_j < \alpha_0$, то значение α_j не включается в множество M . Те значения $\alpha_j, j = k + 1, \dots, m$, которые включаются в множество M , считаются допустимыми и в противном случае — недопустимыми. Далее, элементы множества M упорядочиваются по не убыванию значений рентабельностей. На вход этапа β_{m+1} сначала подаётся множество M . Затем, начиная с наибольшего значения M , последовательно

проверяется условие $\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq b_j$ и выделяется такое под-

множество $M' \subseteq M$, элементы которого удовлетворяют условию и отсеиваются те значения α_j , для которых $\sum_{i=1}^n x_{ij} \geq b_j$. Таким образом, выбор произведен и значения

переменным x_{ij} присваиваются следующим образом: если $x_j \in M'$, то $x_{ij} = 1$ иначе $x_{ij} = 0$. На этом алгоритм β заканчивает свою работу.

3. Применение алгоритма стохастического программирования с элементами линейного программирования

В исследуемой задаче рассматривается такая ситуация: на многопрофильной фирме имеется (n) производств, а также имеется свободная денежная сумма (C), которую фирма намерена в виде инвестиций (c_{ij}) распределить между n_j производствами в каждом из (t_j) периодов времени. Инвестиции вносятся в течение периода времени (m) лет. Разница между размером выплаты (p_{ij}) размером инвестиции (c_{ij}) в каждом периоде времени и в каждом производстве есть величина переменная, т. е. доход $q_{ij} = p_{ij} - c_{ij}$, а также известно, что $p_{ij} \leq c_{ij}$.

Следует отметить, что в каждом году в каждом производстве объём прибыли (X_{ij}) определяется с вероятностью α_{ij} (от 0,1 до 1,0), как математическое ожидание, т. е. $X_{ij} = M(X) = \alpha_{ij}^*(p_{ij} - c_{ij})$. Наиболее выгодным будет тот инвестиционный проект, где значение математического ожидания $M(X)$ будет наибольшим.

Критерием выбора оптимального варианта вложения инвестиций является максимальный уровень рентабельности производства (Δ), определяемый как отношение полученной прибыли к понесенным затратам, т. е. $\Delta_{ij} = (p_{ij} - c_{ij}) / p_{ij}$.

Таким образом, решение данной задачи позволит выбрать оптимальный вариант вложения инвестиций в производства фирмы с тем, чтобы максимизировать получаемую от этих инвестиций прибыль.

Для разработки модели решения задачи инвестирования с помощью алгоритма стохастического программирования введём следующие обозначения:

i — номер строки (год); j — номер столбца (производство);

V_{ij} — величина инвестиций, вложенная в i -ом году в j -ое производство;

X_{ij} — величина ожидаемой прибыли в i -ом году в j -ом производстве;

X_j — величина ожидаемой прибыли в j -ом производстве за m лет;

α — вероятность внесения инвестиций и получения прибыли;

α_j — порог вероятности внесения инвестиций и получения прибыли для каждого производства j ;

α_{ij} — вероятность внесения инвестиций и получения прибыли в i -ом году в j -ом производстве;

Δ — уровень рентабельности в процентах (десятичная дробь);

Δ_{ij} — уровень рентабельности в i -ом году в j -ом производстве;

a_{ij} — коэффициент затрат прямых инвестиций, равный произведению $\alpha_{ij} * \Delta_{ij}$ в i -ом году в j -ом производстве.

При расчёте значений коэффициентов прямых инвестиций (a_{ij}) необходимо учитывать следующее:

1. Порог α_j вероятности внесения инвестиций и получения прибыли для каждого производства является разным, и устанавливается в зависимости от состояния и производительности основных средств и рабочей силы в каждом производстве исследуемого предприятия;
2. Чем выше уровень рентабельности производства, тем больше вероятность (α_{ij}) внесения инвестиций в каждое производство и получение прибыли (X_{ij}).
3. Следует помнить, что правильный расчёт коэффициентов прямых инвестиций является наиболее важным и ответственным этапом решения данной задачи, от которого зависит оптимальность внесения инвестиций в производства предприятия и получение максимально возможной прибыли.

Расчёт коэффициентов прямых затрат инвестиций a_{ij} проведём путём умножения двух матриц: матрицы вероятностей (α_{ij}) и матрицы уровней рентабельности (Δ_{ij}). В результате умножения матриц получим матрицу коэффициентов затрат инвестиции (a_{ij}). Таким образом,

коэффициенты a_{ij} содержат одновременно и вероятность возможного внесения инвестиции и возможный при этом уровень рентабельности производства. В каждом производстве объём прибыли (X_j) определяется с вероятностью α , как математическое ожидание, т. е. $M(X) = \alpha_{ij} * (p_{ij} - c_{ij})$. Наиболее выгодным будет тот инвестиционный проект, где значение математического ожидания $M(X)$ будет наибольшим.

Поскольку в коэффициентах прямых затрат уже учтены и уровень вероятности, и уровень рентабельности при внесении инвестиций, то исследуемая задача примет вид:

Требуется найти вектор $X = (X_1, X_2, \dots, X_m)$, доставляющий максимальное значение целевой функции

$$F(X) = \sum_{j=1}^m C_j X_j \rightarrow \max \quad (4)$$

при выполнении систем ограничений:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq b_j, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

и условий (не отрицательности)

$$x_{ij} \geq 0; \quad b_i \geq 0; \quad C_j = 1; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

где (5) — инвестиции в i -м году во все n производств [3].

В коэффициентах прямых затрат (a_{ij}) учтено и уровень вероятности, и уровень рентабельности при внесении инвестиций.

На этом процесс формализации содержательной задачи инвестиций закончен. Далее запишем модель для нашего условного примера.

Допустим, на заводе ЗАО «Карачаевский пивзавод» имеется 20 млн рублей свободных денег, которые фирма намерена инвестировать в свои 5 производств (№1 — производство пива, №2 — производство минеральной воды, №3 — производство питьевой воды, №4 — производство сладких напитков, №5 — производство лимонада) в течение 5 лет с ежегодным темпом прироста объёма инвестиций 10 % (0,1).

Также известен порог уровня вероятности внесения инвестиций и получения прибыли для каждого производства с шагом 0,05 по годам (для №1 — 0,5; для №2 — 0,45; для №3 — 0,40; для №4 — 0,35; для №5 — 0,30) в зависимости от степени освоения инвестиций на внедрение новой техники и технологий.

Известен также прогнозируемый уровень рентабельности для каждого производства с ежегодным темпом прироста 1 % для: №1 — 20 %, №2 — 25 %, №3 — 30 %, №4 — 35 %, №5 — 40 %. Заметим, что вероятность инвестирования высоко рентабельных производств устанавливается ниже с целью снижения уровня риска внесения инвестиций (обратная зависимость)

Для удобства записи экономико-математической модели задачи инвестирования многопрофильного производства составим несколько матриц в виде таблиц:

Таблица 1.

Матрица вероятностей внесения инвестиций и получения прибыли (a_{ij})

Произ-во	№1	№2	№3	№4	№5
Год $i = 1$	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Год $i = 2$	0,52	0,47	0,42	0,37	0,32
Год $i = 3$	0,54	0,49	0,44	0,39	0,34
Год $i = 4$	0,56	0,51	0,46	0,41	0,36
Год $i = 5$	0,58	0,53	0,48	0,43	0,38

Таблица 2.

Матрица уровня рентабельности производства (Δ_{ij})

Произ-во	№1	№2	№3	№4	№5
Год $i = 1$	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
Год $i = 2$	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39
Год $i = 3$	0,18	0,23	0,28	0,33	0,38
Год $i = 4$	0,17	0,22	0,27	0,32	0,37
Год $i = 5$	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36

Таблица 3.

Матрица коэффициентов прямых инвестиций (a_{ij})

Произ-во	№1	№2	№3	№4	№5
Год $i = 1$	0,365	0,465	0,565	0,665	0,765
Год $i = 2$	0,383	0,488	0,593	0,698	0,803
Год $i = 3$	0,401	0,511	0,621	0,731	0,841
Год $i = 4$	0,419	0,534	0,649	0,764	0,879
Год $i = 5$	0,437	0,557	0,677	0,797	0,917

Таблица 4.

Матрица модели внесения инвестиций многопрофильного производства

Объём прибыли	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	B_i
Прибыль в 1-ом году	0,365	0,465	0,565	0,665	0,765	≤ 3276
Прибыль в 2-ом году	0,383	0,488	0,593	0,698	0,803	≤ 3604
Прибыль в 3-ем году	0,401	0,511	0,621	0,731	0,841	≤ 3964
Прибыль в 4-ом году	0,419	0,534	0,649	0,764	0,879	≤ 4360
Прибыль в 5-ом году	0,437	0,557	0,677	0,797	0,917	≤ 4796
Объём инвестиций	5,000	4,000	3,333	2,857	2,500	$= 20000$
Z_{\max}	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	

Используя данные матрицы, запишем систему ограничений (согласно постановке задачи (4)–(6)) в следующем виде:

$$0,365X_1 + 0,465X_2 + 0,565X_3 + 0,665X_4 + 0,765X_5 \leq 3276$$

$$0,383X_1 + 0,488X_2 + 0,593X_3 + 0,698X_4 + 0,803X_5 \leq 3604$$

$$0,401X_1 + 0,511X_2 + 0,621X_3 + 0,731X_4 + 0,841X_5 \leq 3964$$

$$0,419X_1 + 0,534X_2 + 0,649X_3 + 0,764X_4 + 0,829X_5 \leq 4364$$

$$0,417X_1 + 0,557X_2 + 0,677X_3 + 0,797X_4 + 0,917X_5 \leq 4796,$$

где $X_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, 5, X_j$ — годовая прибыль каждого производства.

Результаты решения задачи

Решение модели оптимального инвестирования многопрофильного производства осуществлено в среде Microsoft Office Excel.

Решив задачу симплексным методом с помощью программы Microsoft Office Excel, мы получили следующее оптимальное решение:

Целевая функция	1	1	1	1	1		
общ. кол-во прибыли	0	536,6321	5356,577	0	0	5893,209	
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5		C_i
1	0,365	0,465	0,565	0,665	0,765	3276	3276
2	0,383	0,488	0,593	0,698	0,803	3438,327	3604
3	0,401	0,511	0,621	0,731	0,841	3600,653	3964
4	0,419	0,534	0,649	0,764	0,879	3762,98	4360
5	0,437	0,557	0,677	0,797	0,917	3925,307	4796
общ. кол-во инвест.	5	4	3,333	2,857	2,5	20000	20000

Оптимальным вариантом вложения инвестиций в ЗАО «Карачаевский пивзавод» является производство №2 (производство минеральной воды), где прибыль составит 537 тыс. руб., и производство №3 (производство питьевой воды), где прибыль составит 5 млн 357 тыс. руб. Общая максимальная прибыль составляет 5 млн 894 тыс. руб. Инвестиции 18 млн руб. следует вносить по годам: в 1-ый год — 3,3 млн руб., 2-ой год — 3,4 млн руб., 3-ий год — 3,6 млн руб., 4-ый год — 3,8 млн руб., 5-ый год — 3,9 млн руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гэри Д., Джонсон М. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. М.: Мир, 1985.
2. Дж. Бигель. Управление производством. (Пер. с англ.). — М.: Мир, 1973.
3. Боташев Р.А. Математические методы в задачах экономики. Учебное пособие. — Карачаевск: КЧГУ, 2018. — ISBN 978-5-8307-0538-7.
4. Бирман И. Оптимальное программирование. — М.: Экономика, 1968.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969.
6. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Новые направления в линейном программировании. — М.: Советское радио, 1966.
7. Дж.Хедли. Линейная алгебра (для экономистов). — М.: Высшая школа, 1966.
8. Канторович Л.В. Оптимальные решения в экономике. — М.: Наука, 1972.
9. Ланкастер К. Математическая экономика. — М.: Советское радио, 1972
10. Боташев Р.А., Шунгаров Х.Д. Проблема выбора оптимального инвестиционного проекта. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. — 2023. — № 2–2. — С. 67–72.
11. Шунгаров Х.Д., Боташев Р.А. Решение задачи выбора оптимального варианта инвестирования // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. — 2023. — № 7–2. — С. 175–178

© Шунгаров Хамид Джашауевич (hamidsh@rambler.ru); Боташев Руслан Азаматович (botashevruslan@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИНТРАОПЕРАЦИОННАЯ ЛУЧЕВАЯ ТЕРАПИЯ В ЛЕЧЕНИИ РАКА ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

INTRAOPERATIVE RADIOTHERAPY IN THE TREATMENT OF PANCREATIC CANCER

**R. Abdulayeva
G. Makiev
D. Mezhekova
Y. Chikhareva
E. Dinaeva
I. Bazin**

Summary. The rather modest results of pancreatic cancer treatment indicate the need to study ways to improve survival rates in this category of patients. The place of radiotherapy in the treatment of localised pancreatic cancer, in particular intraoperative radiotherapy (IORT), is interesting and understudied. This review presents current data on the value of intraoperative radiotherapy and its place in the treatment of localised pancreatic cancer. IOLT in comparison with other types of radiotherapy is characterised by a lower number of complications. Intraoperative radiotherapy significantly improves locoregional control of the disease, but the data on survival are controversial and require further investigation.

Keywords: pancreatic cancer, intraoperative radiotherapy, neoadjuvant radiotherapy, chemotherapy, resectable and borderline resectable cancer, locally advanced cancer.

Абдулаева Рукият Шамильевна

аспирант, Научно-исследовательский институт
клинической онкологии имени академика РАН и РАМН
Н.Н. Трапезникова;

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский
центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Минздрава России
ruutlevi@gmail.com

Макиев Георгий Георгиевич

врач-онколог, Научно-исследовательский институт
клинической онкологии имени академика РАН и РАМН
Н.Н. Трапезникова;

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский
центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Минздрава России
mak.geor@yandex.ru

Межекова Диана Юрьевна

ординатор, ФГАОУ ВО «Российский национальный
исследовательский медицинский университет
им. Н.И. Пирогова» Минздрава России
mezekova99@mail.ru

Чихарева Яна Евгеньевна

врач-онколог, Научно-исследовательский институт
клинической онкологии имени академика РАН и РАМН
Н.Н. Трапезникова;

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский
центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Минздрава России
chikhareva.yana.07@gmail.com

Динаева Эльмира Азретовна

научный сотрудник, врач-онколог, Научно-
исследовательский институт клинической онкологии
имени академика РАН и РАМН Н.Н. Трапезникова;

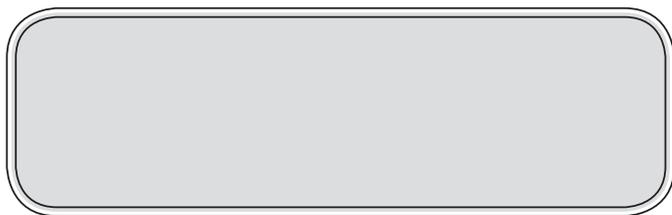
ФГБУ Национальный медицинский исследовательский
центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Минздрава России
elmira.din@yandex.ru

Базин Игорь Сергеевич

Доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник,
Научно-исследовательский институт клинической
онкологии имени академика РАН
и РАМН Н.Н. Трапезникова;

ФГБУ Национальный медицинский исследовательский
центр онкологии имени Н.Н. Блохина, Минздрава России
bazinigs17@mail.ru

Аннотация. Довольно скромные результаты лечения рака поджелудочной железы указывают на необходимость изучать способы улучшения показателей выживаемости у данной категории пациентов. Интересно и малоизучено место лучевой терапии в лечении локализованного рака поджелудочной железы, в частности, интраоперационной лучевой терапии (ИОЛТ). В данном обзоре представлены актуальные данные по значению интраоперационной лучевой терапии и её месту в лечении локализованного рака поджелудочной железы. ИОЛТ в сравнении с другими видами лучевой терапии характеризуется меньшим количеством осложнений. Интраопераци-



Введение

Рак поджелудочной железы (РПЖ) занимает 12-е по заболеваемости и 7-е место по смертности во всем мире. В 2020 году было зарегистрировано более 495000 новых случаев рака поджелудочной железы, среди которых около половины случаев составили пациенты с метастатическим процессом, 10–15 % с локализованным процессом, 25–30 % местно-распространенным [1].

Несмотря на успехи в лечении и диагностике рака поджелудочной железы, пятилетняя выживаемость в 2020 году составила 10 % [2]. По данным критериям клиники M.D. Anderson рак поджелудочной железы подразделяется на: резектабельный, погранично-резектабельный и местно-распространенный (нерезектабельный). При резектабельном РПЖ во многих рекомендациях все еще на первом этапе рекомендовано проведение хирургического лечения, но учитывая результаты исследования неоадьювантной химиотерапии (НАХТ) у пациентов с резектабельными формами РПЖ, вероятно, в скором времени тактика изменится. Выполнение радикальной операции оказывается возможным только у 15–20 % больных, 5-летняя выживаемость после выполнения радикального оперативного вмешательства не превышает 20 % [3]. Стандартного подхода в терапии местно-распространенного РПЖ не существует. Единственная надежда на излечение рака поджелудочной железы заключается в сочетании хирургического лечения и системной многокомпонентной химиотерапии [3].

После радикального лечения основным видом рецидивирования является отдаленное метастазирование [4]. Многие считают, что это связано с микрометастазами, присутствующими во время операции. Это является одним из аргументов сторонников неоадьювантной химиотерапией перед операцией, независимо от резектабельности [5]. Ожидается получение дополнительных достоверных данных, которые установят истинные преимущества, если таковые имеются, этого подхода у пациентов с резектабельным заболеванием. Пациентам с погранично-резектабельным и местно-распространенным заболеванием следует пройти неоадьювантное лечение перед рассмотрением хирургического вмешательства. Сообщается, что этот подход позволяет достичь более высоких показателей резекции с отрицательным краем, а также перевести небольшое количество неоперабельных пациентов в операбельное состояние [6].

онная лучевая терапия достоверно улучшает локорегиональный контроль заболевания, однако данные по выживаемости спорные и требуют дальнейшего исследования.

Ключевые слова: рак поджелудочной железы, интраоперационная лучевая терапия, неоадьювантная лучевая терапия, химиотерапия, резектабельный и погранично-резектабельный рак, местно-распространенный рак.

Значение лучевой терапии в лечении локализованного РПЖ

По данным исследований проведение неоадьювантной химиотерапии с лучевой терапией ассоциировано с повышением частоты R0-резекции и увеличением продолжительности жизни [7]. Неоадьювантная химиолучевая терапия продемонстрировала эффективность в многоцентровом исследовании III фазы PREOPANC, в котором 236 пациентов с резектабельным и погранично-резектабельным раком поджелудочной железы были рандомизированы в две группы: пациенты, получившие неоадьювантную химиолучевую терапию с включением гемцитабина с последующим оперативным лечением и пациенты не получившие неоадьювантную терапию с последующей адьювантной терапией гемцитабином. Повышение медианы общей выживаемости (мОВ) наблюдалось в группе пациентов, получивших неоадьювантную химиолучевую терапию (17,6 против 13,2 месяцев; отношение рисков (ОР) 0,62 [95 % доверительный интервал (ДИ) 0,40–0,95]). Частота R0 резекции составила 71 % (51 из 72) у пациентов, получивших предоперационную химиолучевую терапию, и 40 % (37 из 92) у пациентов, не получивших ХЛТ [8].

В рандомизированном исследовании II фазы ALLIANCE A021501 оценивали периоперационное введение mFOLFIRINOX с неоадьювантной стереотаксической лучевой терапией у 126 пациентов с резектабельным раком поджелудочной железы. Пациенты были рандомизированы в две группы. Пациенты в 1-й группе получили 8 циклов неоадьювантной терапии в режиме mFOLFIRINOX, а пациенты во 2-й группе получили 7 циклов химиотерапии в режиме mFOLFIRINOX с последующей стереотаксической лучевой терапией суммарной дозой (СД) 33–40 Гр, 5 фракций. После чего все пациенты получили оперативное лечение. Показатель ОВ за 18 месяцев составил 67,9 % в 1 группе и 47,3 % во 2 группе. При медиане наблюдения 27 и 31 месяца ОВ составила 31,0 % и 17,1 % мес. Добавление стереотаксической лучевой терапии к неоадьювантной терапии mFOLFIRINOX не улучшило медиану общей выживаемости [9].

Проведение дистанционной лучевой терапии (ДЛТ) так же не показало свою эффективность в лечении больных раком поджелудочной железы, напротив, проведение ДЛТ ассоциирована с высоким количеством осложнений со стороны здоровых органов и тканей.

Подведение умеренных доз излучения к тонкой кишке связано с высоким риском позднего стеноза, изъязвлений, кровотечений и перфораций. Невысокие показатели продолжительности жизни, низкая эффективность проведённого лечения и последующие осложнения ДЛТ при РПЖ заставляют радиотерапевтов искать другие варианты проведения лучевой терапии [10]. За последние 20 лет проведен ряд исследований об эффективности интраоперационной лучевой терапии при местно-распространенном раке поджелудочной железы.

Существующие показания к интраоперационной лучевой терапии

Довольно скромные результаты лечения даже локализованного рака поджелудочной железы указывают на необходимость изучать способы улучшения показателей выживаемости пациентов. Учитывая имеющиеся данные о роли и значимости системной терапии, место лучевой терапии в контексте лечения РПЖ представляется наименее ясным. В контексте существующей парадигмы лечения локализованного РПЖ лучевая терапия наиболее интересна в интраоперационном варианте (ИОЛТ). Интраоперационная лучевая терапия определяется как применение одной фракции высокой дозы облучения во время хирургического вмешательства. ИОЛТ обычно используется в качестве дополнительной терапии к оперативному лечению [11].

Значение и роль ИОЛТ являются дискуссионными, однако уже существуют указания на возможность её использования в некоторых рекомендациях. В основном показания к ИОЛТ описываются следующим образом:

- Радикальная резекция: зона облучения включает ложе опухоли, лимфодиссекции и области с высоким риском рецидива [12].
- Паллиативная резекция (резекция R1 или R2): Целью являются остаточные опухоли или 0,5–1 см вокруг области лимфооттока, области с высоким риском рецидива или обеспечение дополнительной дозы для остаточной области [13–14].
- Нерезектабельные опухоли: цель включает опухоль, край 0,5–1 см вокруг опухоли и область лимфатического дренажа [13–14].

Учитывая анатомию поджелудочной железы, близость нормальных тканей, таких как печень и кишечник, трудно увеличить дозу только с помощью внешнего облучения и достичь удовлетворительной эффективности. Одним из преимуществ ИОЛТ перед другими видами является возможность эскалировать дозу ЛТ. Если доза ИОЛТ не достигает радикального предела, следует рассмотреть возможность проведения послеоперационной лучевой терапии или химиотерапии [15].

Значение интраоперационной лучевой терапии

Первое сообщение об использовании ИОЛТ при раке поджелудочной железы было сообщено в Японии в 1980-х годах [16]. Первоначально она применялась как экспериментальный метод у пациентов с местно-распространённым процессом, где локальный контроль является основным фактором в исходе для пациентов. В 1990-х ИОЛТ начала применяться и у пациентов с резектабельными опухолями [17].

Jon M. Harisson и соавторы провели ретроспективный анализ 158 пациентов с раком поджелудочной железы, получивших ИОЛТ. В исследовании оценивали время без прогрессирования (ВБП) и ОВ. Все пациенты получили неоадьювантную химиотерапию. 132 пациента получили химиотерапию в режиме FOLFIRINOX, остальные получили химиотерапию гемцитабином. Из всех 158 пациентов, получавших неоадьювантную терапию, 94 пациентам (60 %) в дополнение к ИОЛТ была выполнена резекция поджелудочной железы. У 60 пациентов (38%) была выполнена панкреатодуоденальная резекция (операция Уиппла) или тотальная панкреатэктомия. Остальным 34 пациентам (22 %) была выполнена дистальная резекция поджелудочной железы. Больным, перенесшим панкреатодуоденальную или тотальную панкреатэктомию, средняя доза облучения составила 10,2 Гр (± 1 Гр). При патологоанатомическом исследовании средний размер опухоли составил 2,0 см ($\pm 1,8$ см), а частота резекции R0 составила 81,7 %. При дистальной панкреатэктомии средняя доза ИОЛТ составила 10,3 Гр ($\pm 1,9$ Гр). Средний размер опухоли при патологической оценке составил 2,4 см ($\pm 1,5$ см), а показатель R0 составил 85,3 %. Из 132 пациентов, получавших неоадьювантную химиотерапию, медиана ВБП и ОВ с ИОЛТ и хирургическим лечением составила 21,5 мес. и 46,7 месяцев. У 46 пациентов, получавших только ИОЛТ после неоадьювантной химиотерапии в режиме FOLFIRINOX, выживаемость без прогрессирования составила 14,7 мес., а общая выживаемость — 23 мес. Локальные рецидивы выявлены у 12,7 % пациентов после резекции с ИОЛТ и у 15 % пациентов, которые получили только ИОЛТ. Осложнения после резекции с ИОЛТ наблюдались у 13 % пациентов и у 5 % пациентов после ИОЛТ [18].

Liang Jin и соавторами проанализировано 15 исследований, где оценивалась роль ИОЛТ у резектабельных больных с раком поджелудочной железы. В метаанализ были включены 834 пациента, среди которых 401 пациенту была выполнена резекция поджелудочной железы с ИОЛТ, а 433 — без ИОЛТ. Пациенты, получившие ИОЛТ имели лучшую общую выживаемость (показатель медианы выживаемости MSR — 1,20; 95 % доверительный интервал, 1,06–1,37, $P = 0,005$) по сравнению с пациентами, которые не получали ИОЛТ. Кроме того, наблюдалась сниженная частота локальных рецидивов в группе

ИОЛТ по сравнению с группой без ИОЛТ. Послеоперационные осложнения составили 41,4 % против 40,7 %, а летальность составила 4,3 % против 4,0 % в обеих группах соответственно [19].

По данным другого одноцентрового исследования II фазы, проведенного в Южной Корее, включившего 41 пациента с операбельным раком поджелудочной железы. Больным выполнили оперативное лечение и ИОЛТ в дозе 10 Гр на глубине 5 мм. Через 8–12 недель после операции было проведено шесть циклов адъювантной химиотерапии гемцитабином. У 36 пациентов выполнена резекция R0, у 5 — резекция R1. У десяти пациентов (24,4 %) возникли послеоперационные осложнения, осложнения 3 степени были зарегистрированы только у одного пациента. Средняя продолжительность наблюдения составила 9 месяцев. У 20 (47,6 %) пациентов продолжительность наблюдения была менее 9 месяцев, а у 14 (33,3 %) — менее 6 месяцев. Показатель ОВ за 1 год составил 94,1 %. У 4-х пациентов выявлен местный рецидив, у 11 выявлено прогрессирование в виде появления отдаленных метастазов [20].

Yun Sun Lee и соавторы провели проспективное исследование II фазы, в которое было включено 30 пациентов с резектабельным РПЖ. 17 пациентам проведено хирургическое лечение с ИОЛТ дозой 10 Гр. Целевой объем включал ложе опухоли, чревную и верхнюю брыжеечную артерии, корень брыжейки и воротную вену, 13 пациентов были оперированы без ИОЛТ. У пациентов так же исследовали иммунный ответ путем забора перитонеальной жидкости и крови на 1,7,14 сутки после оперативного вмешательства. Среди пациентов, получивших ИОЛТ, местный рецидив возник у 31,3 % пациентов, и у 50 % не получивших ИОЛТ. Кроме того, при анализе 1-летней безрецидивной выживаемости на основе данных 2-летнего наблюдения, было подтверждено, что группа ИОЛТ имела более высокий показатель (41,2 % против 36,4 %). Так же было определен уровень иммунных клеток в крови и уровень цитокинов. В результате чего был выявлено, что ИОЛТ индуцирует противоопухолевый эффект, активируя иммунный ответ, что так же

способствует предотвращению рецидивов рака поджелудочной железы [21].

Большинство данных относительно интраоперационной лучевой терапии при резектабельном и местно-распространённом раке поджелудочной железы ограничены небольшими одноцентровыми исследованиями в основном нерандомизированными. Почти все они показывают преимущество из-за снижения локорегионального рецидива при добавлении ИОЛТ примерно на 40–80 %. Медианна общей выживаемости в разных исследованиях существенно различна — 9–20 месяцев [11]. Несмотря на наличие данных по снижению частоты местного рецидива, достоверных данных по отдалённым результатам лечения нет. Принимая во внимание дизайны проведённых исследований, данные по выживаемости противоречивы и трудны в интерпретации. Учитывая современные результаты лечения РПЖ с использованием современных режимов лекарственной терапии FOLFIRINOX, Nab-Паклитаксел + Гемцитабин, ИОЛТ вряд ли вносит какой-либо существенный вклад в продление жизни пациентов. Однако, требуются новые исследования для уточнения роли интраоперационной лучевой терапии [22–23].

Выводы

Таким образом, интраоперационная лучевая терапия локализованного рака поджелудочной железы позволяет улучшить качество жизни больного, уменьшить частоту локорегиональных рецидивов, снизить частоту лучевых реакций со стороны окружающих здоровых тканей. ИОЛТ предлагает несколько преимуществ по сравнению с ДЛТ: низкое количество осложнений со стороны здоровых органов и тканей, определение целевого объема происходит под визуальным контролем. ИОЛТ более безопасное, эффективное дополнение к хирургическому лечению. ИОЛТ следует рассмотреть, как потенциальный компонент адъювантной терапии. Однако наиболее значимые результаты для пациентов — отдалённые результаты выживаемости требуют дальнейшего изучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kolbeinsson H.M., Chandana, S., Wright G.P., & Chung M. (2022). Pancreatic Cancer: A Review of Current Treatment and Novel Therapies. *Journal of Investigative Surgery*, 36(1). <https://doi.org/10.1080/08941939.2022.2129884>
2. Siegel R.L., Miller K.D., Fuchs H.E., Jemal A. Cancer Statistics, 2021. *CA Cancer J Clin*. 2021 Jan;71(1):7–33. doi: 10.3322/caac.21654. Epub 2021 Jan 12. Erratum in: *CA Cancer J Clin*. 2021 Jul;71(4):359. doi: 10.3322/caac.21669.
3. Strobel O., Lorenz P., Hinz U., Gaida M., König A.K., Hank T., Niesen W., Kaiser JÖR., Al-Saeedi M., Bergmann F., Springfield C., Berchtold C., Diener M.K., Schneider M., Mehrabi A., Müller-Stich B.P., Hackert T., Jager D., Büchler M.W. Actual Five-year Survival After Upfront Resection for Pancreatic Ductal Adenocarcinoma: Who Beats the Odds? *Ann Surg*. 2022 May 1;275(5):962–971. doi: 10.1097/SLA.0000000000004147.
4. Kolbeinsson H., Hoppe A., Bayat A. et al. Recurrence patterns and postrecurrence survival after curative intent resection for pancreatic ductal adenocarcinoma. *Surgery*. 2021;169(3):649–654. doi: 10.1016/j.surg.2020.06.042.
5. Kim R.Y., Christians K.K., Aldakkak M. et al. Total neoadjuvant therapy for operable pancreatic cancer. *Ann Surg Oncol*. 2021;28(4):2246–2256. doi:10.1245/s10434-020-09149-3.

6. Miyasaka Y., Ohtsuka T., Kimura R. et al. Neoadjuvant chemotherapy with gemcitabine plus nab-paclitaxel for borderline resectable pancreatic cancer potentially improves survival and facilitates surgery. *Ann Surg Oncol.* 2019;26(5):1528–1534. doi:10.1245/s10434-019-07309-8.
7. Murphy J.E., Wo J.Y., Ryan D.P., Jiang W., Yeap B.Y., Drapek L.C. et al. Total Neoadjuvant Therapy With FOLFIRINOX Followed by Individualized Chemoradiotherapy for Borderline Resectable Pancreatic Adenocarcinoma: A Phase 2 Clinical Trial. *JAMA Oncol.* 2018 Jul 1;4(7):963–969. doi: 10.1001/jamaoncol.2018.0329. Erratum in: *JAMA Oncol.* 2018 Oct 1;4(10):1439. doi: 10.1001/jamaoncol.2018.4985.
8. Versteijne E., Suker M., Groothuis K., Akkermans-Vogelaar J.M., Besselink M.G. et al. Dutch Pancreatic Cancer Group. Preoperative Chemoradiotherapy Versus Immediate Surgery for Resectable and Borderline Resectable Pancreatic Cancer: Results of the Dutch Randomized Phase III PREOPANC Trial. *J. Clin Oncol.* 2020 Jun 1;38(16):1763–1773. doi: 10.1200/JCO.19.02274.
9. Matthew H.G. Katz et al., Alliance A021501: Preoperative mFOLFIRINOX or mFOLFIRINOX plus hypofractionated radiation therapy (RT) for borderline resectable (BR) adenocarcinoma of the pancreas. *JCO* 39, 377–377(2021). DOI: 10.1200/JCO.2021.39.3_suppl.377
10. Boldrini L., Cusumano D., Cellini F., Azario L., Mattiucci G.C., Valentini V. Online adaptive magnetic resonance guided radiotherapy for pancreatic cancer: state of the art, pearls, and pitfalls. *Radiat Oncol.* 2019 Apr 29;14(1):71. doi: 10.1186/s13014-019-1275-3.
11. Krempien R., Roeder F. Intraoperative radiation therapy (IORT) in pancreatic cancer. *Radiat Oncol.* 2017 Jan 10;12(1):8. doi: 10.1186/s13014-016-0753-0.
12. K. Ogawa, K. Karasawa, Y. Ito, Y. Ogawa, K. Jingu, H. Onishi, S. Aoki, H. Wada, M. Kokubo, H. Etoh, T. Kazumoto, M. Takayama, Y. Negoro, K. Nemoto, Y. Nishimura. Intraoperative radiotherapy for resected pancreatic cancer: a multi-institutional retrospective analysis of 210 patients. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 77 (3) (2010 Jul 1), pp. 734–742. DOI: 10.1016/j.ijrobp.2009.09.010.
13. Jingu K., Tanabe T., Nemoto K., Ariga H., Umezawa R., Ogawa Y. et al. Intraoperative radiotherapy for pancreatic cancer: 30-year experience in a single institution in Japan. *Int J. Radiat Oncol Biol Phys.* 2012 Jul 15;83(4): e507–11. doi: 10.1016/j.ijrobp.2012.01.024.
14. Chen Y., Che X., Zhang J., Huang H., Zhao D., Tian Y. et al. Long-term results of intraoperative electron beam radiation therapy for nonmetastatic locally advanced pancreatic cancer: Retrospective cohort study, 7-year experience with 247 patients at the National Cancer Center in China. *Medicine (Baltimore).* 2016 Sep;95(38): e4861. doi: 10.1097/MD.0000000000004861.
15. Li Y., Feng Q., Jin J., Shi S., Zhang Z., Che X. et al. Experts' consensus on intraoperative radiotherapy for pancreatic cancer. *Cancer Lett.* 2019 May 1; 449:1-7. doi: 10.1016/j.canlet.2019.01.038. Epub 2019 Feb 14. PMID: 30771429.
16. Abe M., Takahashi M. Intraoperative radiotherapy: the Japanese experience. *Int J. Radiat Oncol Biol Phys.* 1981 Jul;7(7):863-8. doi: 10.1016/0360-3016(81)90001-8.
17. P.W. Pisters et al., Rapid-fractionation preoperative chemoradiation, pancreaticoduodenectomy, and intraoperative radiation therapy for resectable pancreatic adenocarcinoma. *JCO* 16, 3843–50(1998). DOI:10.1200/JCO.1998.16.12.3843.
18. Harrison, J.M., Wo, J.Y., Ferrone, C.R. et al. Intraoperative Radiation Therapy (IORT) for Borderline Resectable and Locally Advanced Pancreatic Ductal Adenocarcinoma (BR/LA PDAC) in the Era of Modern Neoadjuvant Treatment: Short-Term and Long-Term Outcomes. *Ann Surg Oncol* 27, 1400–1406 (2020). <https://doi.org/10.1245/s10434-019-08084-2>
19. Jin L., Shi N., Ruan S., Hou B., Zou Y., Zou X. et al. The role of intraoperative radiation therapy in resectable pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis. *Radiat Oncol.* 2020 Apr 9;15(1):76. doi: 10.1186/s13014-020-01511-9.
20. Cho Y., Kim J.W., Kim H.S., Park J.S., Lee I.J. Intraoperative Radiotherapy for Resectable Pancreatic Cancer Using a Low-Energy X-Ray Source: Postoperative Complications and Early Outcomes. *Yonsei Med J.* 2022 May;63(5):405–412. doi: 10.3349/ymj.2022.63.5.405.
21. Lee Y.S., Kim H.S., Cho Y., Lee I.J., Kim H.J., Lee D.E. et al. Intraoperative radiation therapy induces immune response activity after pancreatic surgery. *BMC Cancer.* 2021 Oct 12;21(1):1097. doi: 10.1186/s12885-021-08807-3.
22. Gourgou-Bourgade S., Bascoul-Mollevis C., Desseigne F., Ychou M., Bouché O., Guimbaud R. et al. Impact of FOLFIRINOX compared with gemcitabine on quality of life in patients with metastatic pancreatic cancer: results from the PRODIGE 4/ACCORD 11 randomized trial. *J. Clin Oncol.* 2013 Jan 1;31(1):23-9. doi: 10.1200/JCO.2012.44.
23. Von Hoff D.D., Ervin T., Arena F.P., Chiorean EG, Infante J., Moore M. et al. Increased survival in pancreatic cancer with nab-paclitaxel plus gemcitabine. *N. Engl J. Med.* 2013 Oct 31;369(18):1691–703. doi: 10.1056/NEJMoa1304369.

© Абдулаева Рукият Шамильевна (ruutlevi@gmail.com); Макиев Георгий Георгиевич (mak.geor@yandex.ru);
Межекова Диана Юрьевна (mezekova99@mail.ru); Чихарева Яна Евгеньевна (chikhareva.yana.07@gmail.com);
Динаева Эльмира Азретовна (elmira.din@yandex.ru); Базин Игорь Сергеевич (bazinigs17@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПРИМЕНЕНИЕ СИЛИКОНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОМ ПРОТЕЗИРОВАНИИ

SILICONE MATERIALS IN MAXILLOFACIAL PROSTHETICS

**K. Akhmadishina
A. Zhitko
R. Zhitko**

Summary. The problem of maxillofacial prosthetics in patients with congenital and acquired defects and deformities is currently very relevant. The multistage and complexity of restorative surgical treatment for injuries of the middle facial zone, the peculiarities of defects localization and their size dictate the necessity of individual manufacturing of exoprostheses.

This article presents the features of different materials for the fabrication of ectoprostheses.

The advantages of using silicone are described, including its realistic appearance, comfort, and durability.

It also demonstrates the fabrication of ectoprosthesis in a dental laboratory using an affordable method and equipment, which in turn can serve as an example to the specialist in achieving the most aesthetic and functional individualized ectoprosthesis.

Keywords: maxillofacial prosthetics, defects, deformities, ectoprostheses, silicone.

Ахмадишина Карина Ильгизаровна

Казанский федеральный университет

karina.akhmadishina@yandex.kz

Житко Айгуль Корбановна

Кандидат медицинских наук, доцент,

Казанский федеральный университет

Aigel16@yandex.ru

Житко Руслан Константинович

Преподаватель, Казанский федеральный университет

zhitkor@yandex.ru

Аннотация. Проблема челюстно-лицевого протезирования у больных с врожденными и приобретенными дефектами и деформациями в настоящее время весьма актуальна. Многоэтапность и сложность восстановительного хирургического лечения при повреждениях средней зоны лица, особенности локализации дефектов и их размеры диктуют необходимость индивидуального изготовления экзопротезов.

В данной статье представлены особенности различных материалов для изготовления экзопротезов.

Описываются преимущества использования силикона, включая его реалистичный внешний вид, комфорт и долговечность.

Также было продемонстрировано изготовление экзопротеза в условиях зуботехнической лаборатории с применением доступного метода и оборудования, что в свою очередь может послужить примером специалисту в достижении наиболее эстетичного и функционального индивидуализированного экзопротеза.

Ключевые слова: челюстно-лицевое протезирование, дефекты, деформации, экзопротезы, силикон.

Актуальность

На сегодняшний день онкологические заболевания являются все также одними из лидирующих по смертности в России. Несмотря на то, что при заболеваниях челюстно-лицевой области (ЧЛО) онкологический очаг легко доступен для визуализации, при профилактическом осмотре его выявляют крайне редко. Это означает, что основной поток обращений пациентов с онкологическими заболеваниями приходится на последние стадии.

Ведущим методом лечения онкопатологии ЧЛО является хирургический. Согласно рекомендациям, хирургическое лечение новообразований расширено за пределы визуально здоровых тканей. Таким образом, происходит формирование большого по объему дефекта, выходящего порой за пределы полости рта, то есть даже небольшая по объему опухоль формирует сложный анатомо-функциональный дефект.

Помимо онкопатологий такие специфические хронические заболевания, как сифилис и туберкулезная волчанка, также приводят к появлению дефектов лица.

Нужно отметить, что на сегодняшний день экзопротезирование становится все более актуальным в связи с повреждениями челюстно-лицевой области, возникших в результате травм и ранений в ходе СВО.

Своевременное и полноценное ортопедическое лечение пациентов с послеоперационными дефектами тканей челюстно-лицевой области после расширенных операций по поводу злокачественных новообразований, специфических хронических воспалительных заболеваний, а также повреждений, возникших в результате травм и ранений, занимает ведущее место в комплексе реабилитационных мероприятий. Раннее устранение обширных дефектов направлено на максимальное восстановление нарушенных функций полости рта, сохранение внешнего облика. Несомненным достоинством использования челюстно-лицевых протезов является

Сравнительный анализ материалов

Материал	Преимущества	Недостатки
Силиконовые материалы: Отечественного производства («Эктосил»); Зарубежные аналоги («А-588–2 (Factor II)», «Sorta Clear 18 (Smooth-on)», Ecoflex 00-30 (Smooth-on)»).	химическая и биологическая инертность, нетоксичность, гипоаллергенность; термостойкость; устойчивость к озону, радиации; водостойчивость, диэлектрическая прочность; возможность создавать изделия из силикона в различных агрегатных состояниях; прост в утилизации и может быть использован повторно в производстве.	
Жесткие пластмассы на основе ПММА: Отечественного производства («АКР-7,-9,-10», «ЭГМАСС-12»); Зарубежные аналоги («Vsmile»).	высокая степень стабильности цвета; прочный материал, который можно отремонтировать в случае повреждения.	может вызывать раздражение; большой коэффициент термического расширения, способствует накоплению микроорганизмов в полости рта; хрупкий (при падении).
Мягкие пластмассы: Отечественного производства («ПМ-01»); Зарубежные аналоги («Вертекс Ортопласт»).	хорошая устойчивая эластичность; необходимая прочность; химическая стойкость; гигиеничность.	низкий коэффициент износостойкости; пористость; неустойчивый цвет; содержат остаточный мономер, раздражают слизистую оболочку десны.

повышение социальной адаптации больных, улучшение качества их жизни, что в свою очередь способствует полной реабилитации, возвращению к общественно полезному труду.

Эпитез — искусственная смоделированная часть лица, которая изготавливается из специального силикона.

Изготовление протезов включает в себя три этапа: снятие оттиска области дефекта, моделирование и отливка готового протеза.

В последнее время облегчить и сделать более точными данные этапы возможно благодаря CAD/CAM технологиям, однако это значительно увеличивает стоимость такого протеза. [2]

Для создания эктопротезов используются чаще всего двухкомпонентные силиконовые материалы с катализаторами, которые обеспечивают высокие механо-физические свойства здорового органа и протеза. [3]. Сравнительный анализ материалов приведен в табл. 1.

Клинический случай

Больной Д. 38 лет. Из анамнеза: после травмы подбородочной части нижней челюсти 6 месяцев назад обратился по поводу протезирования. От операции костной пластики отказался. Объективно: неправильная конфигурация подбородка с западением тканей.

Для изготовления лицевого протеза подбородка нами была применена технология литья по выплавляе-

мым моделям, широко применяемая в зуботехнических лабораториях. За основу был взят двухкомпонентный силикон Ecoflex 00–30. Производитель: Smooth-On, США.

1. На гипсовой модели лица создаем восковую композицию будущего протеза (рис. 1).
2. Загипсовываем восковую композицию в зуботехническую кювету лицевой стороной вниз. С внутренней стороны композиции моделируем литниковый канал и воздухопроводы (рис. 2). Закрываем вторую половинку кюветы и заполняем её гипсом.
3. После схватывания гипса выплавляем воск в кипящей воде (рис. 3). Смазываем гипс изолирующим лаком.
4. Подготавливаем двухкомпонентный силикон. Смешиваем состав «А» и «В» в пропорции 1:1 для получения однородной массы силиконового материала. Смешивать компоненты силикона необходимо в вакуумном смесителе. При ручном смешивании, с внутренней стороны протеза может образоваться пористость из-за большого количества мелких пузырьков. На этом этапе необходимо в силикон добавить краситель.
5. Соединяем половинки кюветы. С помощью шприца заливаем силикон. Время схватывания силиконового материала — 12 часов (рис. 4).
6. После застывания открываем кювету и извлекаем заготовку протеза (рис. 5).
7. Отрезаем литниковый и воздушные каналы, обрабатываем края протеза. Проверяем на гипсовой модели.
8. Примерка готового лицевого протеза подбородочной части (рис. 6).



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

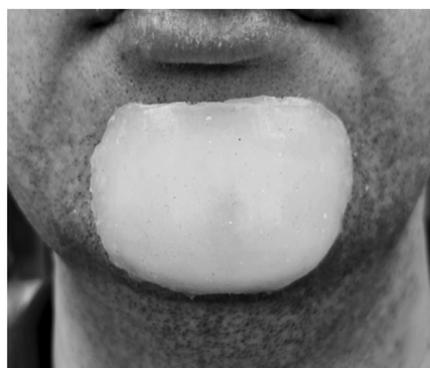


Рис. 6

В результате нами был изготовлен лицевой протез подбородочной части с применением технология литья по выплавляемым моделям.

Отметим, что данный воспроизведенный пример для дальнейшего совершенствования протеза был отработан в условиях зуботехнической лаборатории с применением доступного оборудования.

Заключение

Проблема челюстно-лицевого протезирования у больных с врожденными и приобретенными дефектами и деформациями в настоящее время остается все также актуальна.

Несмотря на огромный прогресс восстановительной хирургии, челюстно-лицевое протезирование сегодня остается релевантным методом реконструкции лица и становится незаменимым во многих клинических ситуациях. Изготовление индивидуальных лицевых масок, использование таких материалов, как силиконовые эластомеры, позволяет создавать лицевые эпитезы высокого эстетического и функционального уровня, отвечающие требованиям пациентов и способствующие их удовлетворительной социальной интеграции.

Были выявлены преимущества силикона для изготовления эктопротезов, а также продемонстрировано изготовление эктопротеза в условиях зуботехнической лаборатории с применением доступного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брусов А.Б., Орловский И.П. Эктопротезирование дефектов и деформаций средней зоны лица с использованием силиконовых эластомеров. — *Стоматология*. — 2010. №3. — 6 с.
2. Унковский А.С., Деев М.С., Арутюнов С.Д., Лебеденко И.Ю. CAD/сам-технологии в стоматологическом эктопротезировании (обзор литературы) // *Российский стоматологический журнал*. — 2012. №6–51.
3. Николаенко С.А., Зубарев А.И., Шапиро Л.А., Бит М., Федоров Ю.В. Протетическая реабилитация пациентов с приобретенными челюстно-лицевыми дефектами адгезивно-фиксированными эпитезами. — *Клиническая стоматология*. — 2016. №4–43 с.

© Ахмадишина Карина Ильгизаровна (karina.akhmadishina@yandex.kz); Житко Айгуль Корбановна (Aigel16@yandex.ru);
Житко Руслан Константинович (zhitkor@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ ГИНЕКОЛОГИЧЕСКОГО И АКУШЕРСКОГО АНАМНЕЗА У БЕРЕМЕННЫХ С ЖЕЛЕЗОДЕФИЦИТНОЙ АНЕМИЕЙ РАЗЛИЧНЫХ СТЕПЕНЕЙ ТЯЖЕСТИ

ANALYSIS OF GYNECOLOGICAL AND OBSTETRIC ANAMNESIS IN PREGNANT WOMEN WITH IRON DEFICIENCY ANEMIA OF VARIOUS DEGREES OF SEVERITY

**E. Belikova
T. Kolesnikova
M. Tashalieva
T. Irzakhanova
H. Ziyara
S. Dedkova**

Summary. One of the policy directions in Russia is to increase the birth rate and improve the welfare of citizens. The problem of anemia during pregnancy remains relevant to this day, as it negatively affects the health of the mother and child. The incidence of this pathology among the female population remains high. This article provides an analysis of gynecological and obstetric anamnesis in pregnant women with iron deficiency anemia of various degrees of severity. The provoking factors for the development of anemia during pregnancy are prolonged menstruation, a short menstrual cycle, inflammatory diseases of the uterus and appendages, ovarian dysfunction, uterine fibroids, the interval between childbirth is less than three years. Iron deficiency anemia contributes to the development of colpitis during pregnancy.

Keywords: iron deficiency anemia, pregnancy, childbirth, menstrual cycle, inflammatory diseases of the uterus and appendages, ovarian dysfunction, uterine fibroids, colpitis.

Беликова Елена Владимировна

Доцент, кандидат медицинских наук., доцент,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева, г. Саранск
bel.ev66@mail.ru

Колесникова Татьяна Александровна

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева, г. Саранск
tanusick.m@yandex.ru

Ташалиева Муштари Фарход кизи

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева, г. Саранск
mushtariy.farxadova@mail.ru

Ирзаханова Табика Магомедовна

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева, г. Саранск
tabika05@mail.ru

Зияра Хасан Сабах Ибрахим

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева, г. Саранск
hassan.ziyara@gmail.com

Дедкова Софья Игоревна

Национальный исследовательский
Мордовский государственный университет
имени Н.П. Огарева, г. Саранск
Dedsona40@gmail.com

Аннотация. Одним из направлений политики в России является увеличение рождаемости, повышение благосостояния граждан. Проблема анемии во время беременности до настоящего времени остается актуальной, так как она негативно отражается на здоровье матери и ребенка. Остаются высокими показатели встречаемости этой патологии среди женского населения. В данной статье приводится анализ гинекологического и акушерского анамнеза у беременных с железодефицитной анемией различных степеней тяжести. Провоцирующими факторами для развития анемии во время беременности являются длительные менструации, короткий менструальный цикл, воспалительные заболевания матки и придатков, дисфункция яичников, миома матки, промежуток между родами менее трех лет. Железодефицитная анемия способствует развитию кольпита во время беременности.

Ключевые слова: железодефицитная анемия, беременность, роды, менструальный цикл, воспалительные заболевания матки и придатков, дисфункция яичников, миома матки, кольпит.

Как известно, одним из направлений политики в России является увеличение рождаемости, повышение благосостояния наших граждан. Для рождения здорового потомства большое значение имеет благоприятное течение беременности, родов, послеродового периода. При анализе возможных осложнений во время гестации, мы обратили внимание на железодефицитную анемию (ЖДА), так как она негативно отражается на здоровье матери и ребенка. Частота встречаемости этой патологии остается высокой. В России в 2021–2022 гг. анемия встречалась у 1446,1–1507,4 человек. Среди беременных, рожениц и родильниц этот показатель составил 35,4–34,6. Заболеваемость анемией детей первого года жизни 79,3–75,1 [1]. Около 90 % всех анемий у беременных приходится на долю железодефицитной (ЖДА). Железодефицитная анемия — это синдром, характеризующийся нарушением синтеза гемоглобина вследствие дефицита железа и проявляющийся анемией. По определению Всемирной Организации Здравоохранения нижним пределом для уровня гемоглобина у беременных женщин считается менее 110 г/л в первом и третьем триместрах, менее 105 г/л во втором триместре, менее 100 г/л в послеродовом периоде. По степени выраженности анемии подразделяют: легкая степень — 90–109 г/л, средняя степень — 70–89 г/л и тяжелая степень — менее 70 г/л [2].

Немало работ посвящено изучению влияния железодефицитной анемии на течение беременности, родов, послеродового периода [3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13]. Авторы приводят аспекты здорового образа жизни с целью профилактики этого заболевания [14]. Однако проблема до сих пор остается актуальной.

Все вышесказанное определило цель наших исследований: провести анализ гинекологического и акушерского анамнеза у беременных с железодефицитной анемией в Республике Мордовия.

Материал и методы исследования

Исследование проводилось путем сравнительного анализа гинекологического и акушерского анамнеза у беременных с железодефицитной анемией различных степеней тяжести. Данные анализа приведены в процентах и представлены в виде рисунков. Проведено сравнение показателей.

Первую группу составили беременные с анемией легкой степени тяжести, во вторую вошли беременные с анемией средней степени тяжести, в третью группу — беременные без анемии.

Результаты исследования и их обсуждение

Беременные с анемией легкой степени тяжести, как правило, жалоб не предъявляли. При анемии средней

степени тяжести отмечались: бледность кожных покровов, слабость, в небольшом проценте случаев (7,7 %) отмечался шум на верхушке сердца. В первой группе оказались женщины, у которых анемия возникла во время беременности, во второй группе — женщины с анемией, возникшей до беременности.

Как известно, одной из причин развития железодефицитных анемий у женщин являются кровопотери различной этиологии. Значительное количество крови теряется во время менструации. Менструальный цикл — это сложный физиологический процесс взаимодействия между многими тканями, клетками и гормонами женского организма [15]. Данные менструальной функции представлен на рисунке №1.

При сравнении групп между собой, было выявлено, что у большинства беременных женщин менструации пришли в срок, лишь у 7,7 % женщин без анемии было позднее начало менструации.

У всех обследованных женщин продолжительность менструации менее трех дней не наблюдалось. У беременных без ЖДА наиболее часто отмечалось продолжительность менструации 3–5 дней (61,5 %). У беременных с ЖДА легкой степени этот показатель встречался в меньшем проценте случаев (36,8 %). У беременных с ЖДА средней степени тяжести он составил 27,3 %. Продолжительность менструации 5–7 дней у здоровых беременных встречалась реже (38,5 %), а у беременных с ЖДА значительно чаще (у беременных с ЖДА легкой степени — 68,4 %, у беременных с ЖДА средней степени — 63,6 %). Следует отметить, что длительные менструации, более 7 дней, отмечались только у беременных с ЖДА средней степени тяжести (27,3 %).

При анализе цикличности менструального цикла выявлено что, у здоровых беременных наиболее часто отмечался длительный менструальный цикл (26–30 дней у 46,2 %, 30–35 дней — у 30,8 %). В небольшом проценте случаев у этих женщин цикл был 35 дней и более (15,4 %). У беременных с ЖДА цикл 35 дней и более встречался гораздо реже (у беременных с ЖДА легкой степени — 5,3 %, у беременных с ЖДА средней степени — 9,1 %). Более короткий цикл (21–25 дней) встречался гораздо чаще у беременных с ЖДА по сравнению с контролем (легкая степень — 10,5 %, средняя степень — 18,2 %). Цикл 26–30 дней, соответственно, у женщин с ЖДА легкой степени составил 52,6 %, у беременных с ЖДА средней степени — 54,5 %. Цикл более длительный (30–35 дней) встречался у женщин с ЖДА легкой степени в 31,6 % случаев, у женщин с ЖДА средней степени в 30,8 % случаев). Таким образом, к причинам дефицита железа в организме во время беременности могут привести длительные менструации и короткий менструальный цикл. При этом нарушается равновесие между

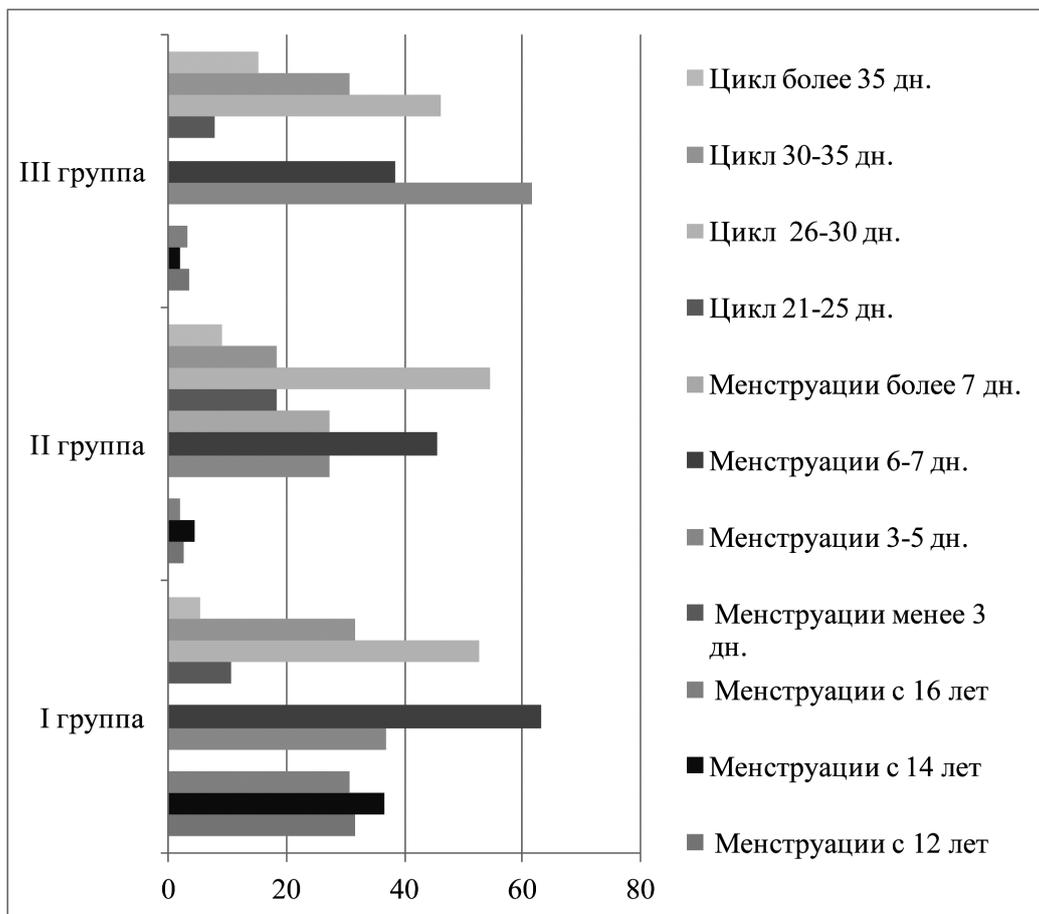


Рис. 1. Менструальная функция у обследованных женщин

поступлением и расходом железа, необходимого для эритропоэза. Повышенная потеря железа, при которых данный микроэлемент не успевает депонироваться, происходит при менструальных кровопотерях, предшествующих беременности. При обильных менструациях возможна потеря железа в количестве 50–250 мг железа [2].

Следующим этапом наших исследований явилось изучение перенесенных и сопутствующих гинекологических заболеваний у обследованных беременных женщин. Результаты представлены на рисунке №2

Эктопия шейки матки — это расположение цилиндрического эпителия, выстилающий канал шейки матки, на влажной ее поверхности [15]. При осмотре в гинекологических зеркалах эктопия выглядела как красное пятно вокруг наружного отверстия цервикального канала. Самые распространенные причины — это гормональное воздействие и инфекционный процесс в организме женщины [15]. В наших исследованиях данная патология примерно с одинаковой частотой встречалась у всех обследованных женщин. У беременных с ЖДА легкой степени — 15,8 %, у беременных с ЖДА средней степени тяжести в 18,2 % случаев, у беременных без ЖДА — 15,4 %. Следовательно, можно предпо-

ложить, что эктопия шейки матки существенно не влияет на развитие анемии во время беременности.

Воспалительные заболевания органов малого таза (ВЗОМТ) — это воспалительные заболевания органов верхнего отдела женского репродуктивного тракта, включающие эндометрит, параметрит, сальпингит, оофорит, tuboовариальный абсцесс, пельвиоперитонит и их сочетания [15]. В наших исследованиях встречались неспецифические воспалительные заболевания матки и придатков. При сравнении групп между собой мы выявили, что генитальное заболевание наиболее часто было выявлено у беременных с ЖДА легкой степени (31,6 %) и у беременных с ЖДА средней степени тяжести (36,4 %). У беременных без ЖДА этот показатель был значительно ниже — 7,7 %. Есть мнение различных авторов о существовании так называемого перераспределительного дефицита железа, возникающего при хронических воспалительных заболеваниях, при которых большая концентрация микроэлемента распределяется в очаге воспаления [2].

Кольпит — это воспаление слизистой оболочки влагалища. Заболевание может вызываться специфическими и неспецифическими микроорганизмами. Коль-

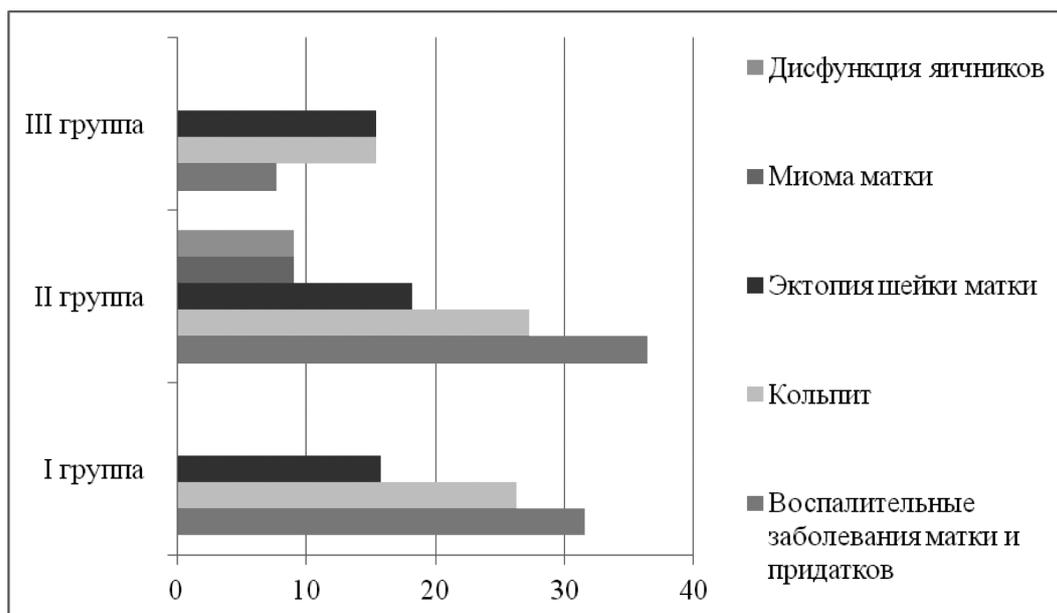


Рис. 2. Гинекологические заболевания у обследованных женщин

пит — одно из самых распространённых заболеваний женской половой сферы, которым наиболее часто страдают женщины репродуктивного возраста. Если женщина здорова, то флора влагалища состоит в основном из влагалищных палочек Додерлейна, которые вырабатывают молочную кислоту, оказывающую губительное действие на различные микробы. Инфекция легко проникает в организм матери, все иммунные механизмы которого направлены на поддержание жизни и развития плода. Из-за перестройки гормонального фона во влагалище образуется щелочная среда, благоприятная для размножения и колонизации бактерий. Гормональная перестройка и снижение иммунитета при беременности являются предрасполагающими факторами для развития кольпита во время беременности [15]. В наших исследованиях данная патология с примерно одинаковой частотой встречалась у беременных женщин с ЖДА (в первой группе — 26,3 %, во второй группе — 27,3 %). У беременных без ЖДА этот показатель был значительно ниже (15,4 %). Можно предположить, что ЖДА способствует развитию кольпита во время беременности.

Миома матки — это доброкачественная опухоль, возникающая в мышечном слое матки — миометрии. Она является одним из самых распространенных заболеваний у женщин, достигая частоты 12–25 % от всех гинекологических заболеваний. Наиболее высокая заболеваемость миомой матки приходится на поздний репродуктивный период [15]. В наших исследованиях в небольшом проценте случаев встречалась интерстициальная миома матки у беременных с ЖДА средней степени тяжести (9,1 %).

Дисфункция яичников — это нарушение функциональной активности яичников, которое характеризуется

изменением гормонального фона. Дисфункция яичников может являться результатом воспаления или гормонального дисбаланса на уровне гипоталамо-гипофизарного комплекса. Все физиологические механизмы, происходящие в яичниках, контролируются гормонами, которые продуцируются в гипоталамусе и гипофизе [15]. В наших исследованиях дисфункция яичников встречалась в небольшом проценте исследований у беременных с ЖДА средней степени тяжести (9,1 %).

На следующем этапе мы анализировали акушерский анамнез у беременных женщин. Акушерский анамнез — это собирательное понятие, под которым понимают исходы предыдущих беременностей, родов. Данные акушерского анамнеза представлены на рисунке 3.

Анализируя данную таблицу видно, что у большинства обследованных беременных была выявлена повторная беременность и предстоящие повторные роды. Так в первой группе этот показатель был 68,4 %, во второй группе — 63,6 %, в третьей группе — 61,5 %. Промежуток между родами менее 3 лет в первой группе составил 30,8 %, во второй группе — 71,4 %, в третьей группе таких беременных не было. Организм женщины не успевает восполнить возникший в предыдущую беременность дефицит микроэлемента. Происходит истощение запасов железа в депо. Таким образом, можно предположить, что частые повторные роды с коротким промежутком являются провоцирующим фактором развития анемии во время беременности.

При анализе медицинских аборт и выкидышей нами установлено, что данные показатели примерно с одинаковой частотой встречались во всех группах. У беременных с ЖДА легкой степени тяжести в 15,8 %

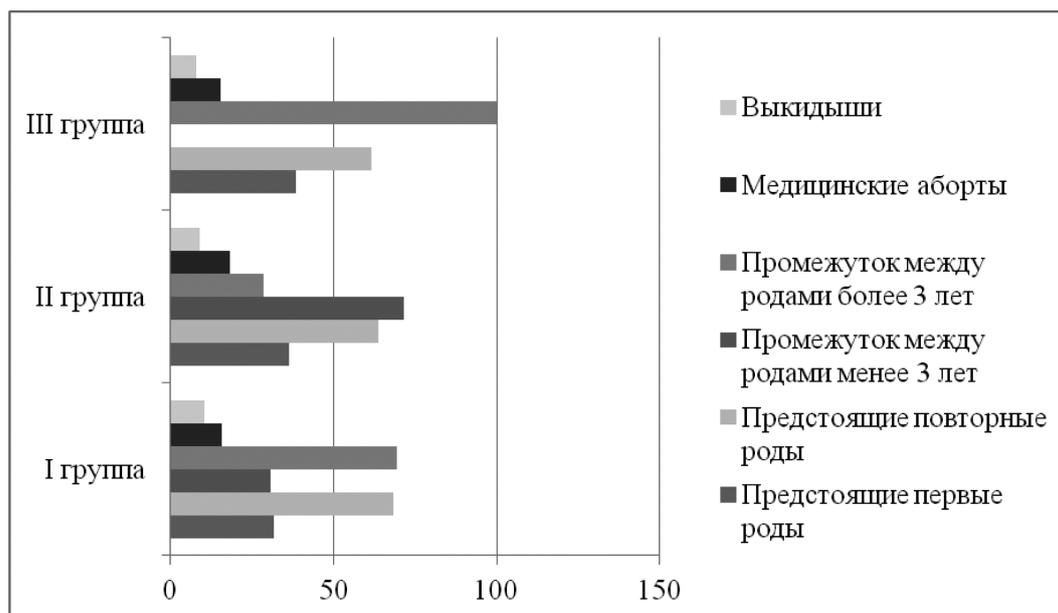


Рис. 3. Акушерский анамнез у обследованных беременных женщин

и 10,5 %, во второй группе — 18,2 % и 9,1 %, в третьей группе — 15,4 % и 7,8 %. Можно предположить, что данные показатели существенно не влияют на развитие анемии во время беременности.

Заключение

Провоцирующими факторами для развития анемии во время беременности являются предшествующие дли-

тельные менструации и короткий менструальный цикл, а также воспалительные заболевания матки и придатков, дисфункция яичников, миома матки, промежуток между родами менее трех лет. Сама железодефицитная анемия способствовала развитию кольпита во время беременности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здравоохранение в России.2023: Стат. сб. /Росстат. — М., 2023. — 179с.
2. Петров Ю.А., Горяева А.Э. Железодефицитная анемия у беременных //Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2018. — №5–1. — С. 240–244.
3. Петрова Е.А., Беликова Е.В. Анемия у беременных // Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных наук. Сборник научных трудов I Всероссийского студенческого научного форума с участием молодых исследователей. — Саранск, 2012. — С. 130–131.
4. Юматова Н.С., Беликова Е.В., Авдеева Н.А. Влияние анемии на течение беременности //Актуальные проблемы медико-биологических дисциплин: Сборник научных трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием молодых ученых, аспирантов, студентов, Саранск, 22–23 мая 2014 года. — Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2012. — С. 12–17.
5. Беликова Е.В., Авдеева Н.А. Влияние анемии на течение беременности / Е.В. Беликова, Н.А. Авдеева, Н.С. Юматова // Актуальные проблемы медико-биологических дисциплин. Сборник научных трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием молодых ученых, аспирантов и студентов. — Саранск, 2014. — С. 12–14.
6. Сухорукова М.А., Слугина В.А., Теплова М.М., Беликова Е.В. К вопросу о влиянии анемии на течение беременности, развитие плода и новорожденного //Актуальные проблемы медико-биологических дисциплин: Сборник научных трудов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием молодых ученых, аспирантов, студентов. В 2-х частях, Саранск, 20 мая 2021 года /Под редакцией Л.А. Балыковой, Л.В. Матвеевой. Том Часть 1. — Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2021. — С. 11–16.
7. Худайберенова О.Д., Худайберенов Р.Д., Беликова Е.В. Пиелонефрит у беременных с анемией: лечение // Инфекционно-воспалительные заболевания как междисциплинарная проблема: Метериалы V межрегиональной научно-практической конференции, Саранск, 20 мая 2021 года. — Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2022. — С. 189–194.
8. Анашкова М.Ю., Беликова Е.В. К вопросу о факторах риска развития железодефицитной анемии во время беременности. В сборнике: Актуальные проблемы медико-биологических дисциплин. Сборник научных трудов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием молодых ученых, аспирантов, студентов. В 2-х частях, Саранск, 20 мая 2021 года / Под редакцией Л.А. Балыковой, Л.В. Матвеевой. Том Часть 1. — Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева, 2021. — С. 5–10.

9. Абдуллаева З.М., Хализова М.В., Беликова Е.В. Частота встречаемости различных синдромов у беременных с железодефицитной анемией и урогенитальной инфекцией. Инфекционно-воспалительные заболевания как междисциплинарная проблема: материалы VI межрегиональной. научно-практической конференции, Саранск 2022, с.13–17.
10. Хализова М.В., Абдуллаева З.М., Беликова Е.В. Урогенитальные инфекции и железодефицитная анемия у беременных женщин. //Инфекционно-воспалительные заболевания как междисциплинарная проблема: материалы VI межрегиональной. научно-практической конференции, Саранск 2022, с. 273–277.
11. Хализова М.В., Абдуллаева З.М., Беликова Е.В. Анализ кардиограмм у беременных с железодефицитной анемией и урогенитальными инфекциями. // Инфекционно-воспалительные заболевания как междисциплинарная проблема: материалы VI межрегиональной. научно-практической конференции, Саранск 2022, с. 269–273.
12. Левакина Ю.А., Мамедова З.С., Беликова Е.В., Радынова С.Б., Тюрина Е.П. Лабораторная диагностика железодефицитной анемии, сочетанной с урогенитальными инфекциями. // Инфекционно-воспалительные заболевания как междисциплинарная проблема: Материалы VII межрегиональной научно-практической конференции, Саранск 2023, с.219-224.
13. Левакина Ю.А., Мамедова А.С., Калгина И.Н., Беликова Е.В. Современные взгляды на этиологию, патогенез, клинику и диагностику железодефицитной анемии во время беременности // Вопросы экспертизы и качества медицинской помощи.2023. №5. С.26–28.
14. Авдеева Н.А. Некоторые аспекты здорового образа жизни. Проблемы современной науки и инновации. 2023. №1. С. 8–11.
15. Гинекология: учеб. Для студентов мед. Вузов /под ред. Г.М. Савельевой В.Г. Бреусенко. — 3-е изд., испр. и доп. — Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2006. — (Учебник для вузов).

© Беликова Елена Владимировна (bel.ev66@mail.ru); Колесникова Татьяна Александровна (tanusick.m@yandex.ru);
Ташалиева Муштарий Фарход кизи (mushtariy.farxadova@mail.ru); Ирзаханова Табика Магомедовна (tabika05@mail.ru);
Зияра Хасан Сабах Ибрахим (hassan.ziyara@gmail.com); Дедкова Софья Игоревна (Dedsona40@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМА ПЕРСОНИФИЦИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАНИЙ К ПРИМЕНЕНИЮ МОСТОВИДНЫХ ПРОТЕЗОВ

THE RESULTS OF THE DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR A PERSONALIZED METHOD FOR DETERMINING INDICATIONS FOR THE USE OF BRIDGES

**Ju. Vokulova
E. Zhulev
N. Yanova
I. Velmakina**

Summary. The aim of the study was to develop an algorithm for a personalized methodology for determining indications for the use of bridges. *Material and methods.* To determine the advantages of the combined use of the method of determining indications developed by us and the digital technology for manufacturing bridges, a survey of 30 patients (20 men and 10 women) aged 32 to 68 years was conducted. To evaluate the results obtained, a point evaluation of the criteria was used. *Results.* The accuracy of determining indications for the use of bridges when using automated calculation of periodontal endurance coefficients of supporting teeth, considering personalized indicators with the combined use of the method of determining indications and digital technology for manufacturing bridges was evaluated as significantly the highest in comparison with the traditional method ($p < 0.00714$). *Conclusion.* The developed «Digital methodology for determining indications for the use of bridges» provides an automated process for assessing the clinical picture and planning orthopedic treatment, taking into account a multifactorial analysis of periodontal endurance according to a specially developed program, whose tasks included determining the degree of atrophy of the alveolar part of the socket of the supporting teeth, the extent of the dentition defect, the condition of the supporting teeth, with simultaneous automated calculation of periodontal endurance coefficients, taking into account the surface area of the roots of the teeth and the final formation of a conclusion on the expediency of using a bridge prosthesis or, conversely, on the presence of contraindications for its use in this clinical situation.

Keywords: partial loss of teeth, bridges, periodontal reserve forces.

Вокулова Юлия Андреевна

Доктор медицинских наук,
заместитель директора, Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Vokulova89@mail.ru

Жулев Евгений Николаевич

Заслуженный работник высшей школы РФ,
доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ ВО
«Приволжский исследовательский медицинский
университет» Минздрава России, г. Нижний Новгород
hrustalev54@mail.ru

Янова Нина Александровна

Кандидат медицинских наук, доцент, Нижегородский
государственный университет им. Н.И. Лобачевского
nina-yanova@yandex.ru

Вельмакина Ирина Владимировна

Кандидат медицинских наук, доцент, ФГБОУ ВО
«Приволжский исследовательский медицинский
университет» Минздрава России, г. Нижний Новгород
velmakinairina@rambler.ru

Аннотация. Цель исследования — разработать алгоритм персонализированной методики определения показаний к применению мостовидных протезов. *Материал и методы.* Для определения преимуществ сочетанного применения разработанной нами методики определения показаний и цифровой технологии изготовления мостовидных протезов было проведено обследование 30-ти пациентов (20 мужчин и 10 женщин) в возрасте от 32 до 68 лет. Для оценки полученных результатов применяли балльную оценку критериев. *Результаты.* Точность определения показаний к применению мостовидных протезов при применении автоматизированного расчета коэффициентов выносливости пародонта опорных зубов с учетом персонализированных показателей при сочетанном применении методики определения показаний и цифровой технологии изготовления мостовидных протезов была оценена как достоверно наибольшая в сравнении с традиционным методом ($p < 0,00714$). *Заключение.* Разработанная «Цифровая методика определения показаний к применению мостовидных протезов» обеспечивает автоматизированный процесс оценки клинической картины и планирования ортопедического лечения с учетом многофакторного анализа выносливости пародонта по специально разработанной программе, в задачи которой входило определение степени атрофии альвеолярной части лунки опорных зубов, протяженности дефекта зубного ряда, состояния опорных зубов, с одновременным автоматизированным расчетом коэффициентов выносливости пародонта с учетом площади поверхности корней зубов и завершающим формированием заключения о целесообразности применения мостовидного протеза или, наоборот, о наличии противопоказания для его применения в данной клинической ситуации.

Ключевые слова: частичная потеря зубов, мостовидные протезы, резервные силы пародонта.

Введение

При определении показаний к применению мостовидных протезов клиницистами учитываются многие факторы, такие как протяженность и топография дефекта зубного ряда, состояние и положение зубов, ограничивающих дефект, характер атрофии беззубого альвеолярного отростка, вид прикуса, окклюзионные взаимоотношения в различные фазы артикуляции, состояние других зубов, в том числе и утративших антагонистов [1, 2].

При планировании ортопедического лечения мостовидными протезами важное значение имеет вопрос о выборе количества опорных зубов при разной топографии дефекта зубного ряда. Кроме того, при ослабленном пародонте запас резервных сил сокращается, а применение мостовидного протеза может привести к заболеванию пародонта [3]. Эмпирический подход к определению показаний к применению мостовидных протезов, особенно при сложной клинической картине, отягощенной наличием травматической окклюзии, увеличивает опасность совершения ошибок. В этих условиях объективная оценка клинической картины, и в первую очередь состояния пародонта, является одной из главных предпосылок грамотного и эффективного ортопедического лечения [4, 5].

Цель исследования — разработать алгоритм персонифицированной методики определения показаний к применению мостовидных протезов.

Материалы и методы исследования

При ортопедическом лечении пациентов с частичной потерей зубов с применением несъемных протезов мы использовали разработанные нами цифровую методику и программу для ЭВМ «Определения показаний к применению мостовидных протезов» [свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611030 от 16.01.2023].

Использование цифровой методики определения показаний к применению мостовидных протезов позволяет учитывать протяженность дефекта зубного ряда, степень атрофии альвеолярной части челюсти и состояние опорных зубов (витальность, устойчивость, изменения в периапикальных тканях, соотношение высоты коронки и длины корня, окклюзионные взаимоотношения — наличие или отсутствие антагонистов).

Перед планированием ортопедического лечения проводится рентгенологическое обследование, на основании которого врач загружает рентгенограммы в специально разработанную программу, в которой по специальной схеме определяется степень атрофии лунки,

соотношение высоты коронки и длины корня и рассчитывается индивидуальная площадь корней опорных зубов. Для этого необходимо для каждого опорного зуба обозначить касательную к вершине коронки (1), границу между коронкой и корнями (2) и дистальную (3) и мезиальную (4) поверхности всех корней (рис. 1).

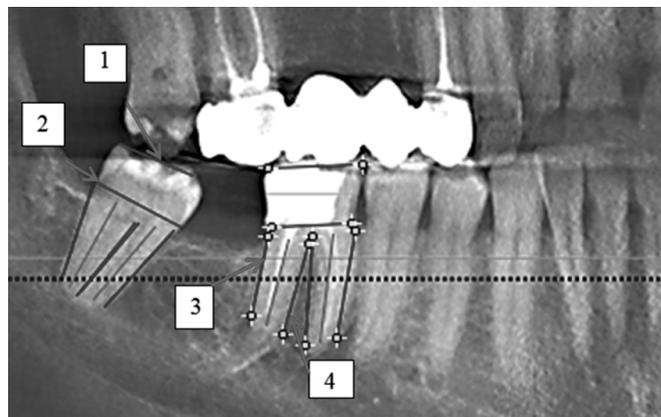


Рис.1. Схема изучения состояния опорных зубов на рентгенограмме. 1 — касательная к вершине коронки; 2 — граница между коронкой и корнями; 3 — дистальную поверхность корней; 4 — мезиальная поверхность корней

На втором этапе рассчитываются коэффициенты выносливости пародонта, выведенные из площади поверхности корней зубов. Для удаленных зубов применяются коэффициенты, предложенные Е.Н. Жулевым [5] (табл.1). Для опорных же зубов рассчитываются коэффициенты с учетом значения индивидуальной площади корней и факторов, снижающих резервные силы пародонта (табл. 2).

Таблица 1.

Коэффициенты выносливости пародонта, выведенные из площади поверхности корней зубов (по Жулеву Е.Н., 1995)

Верхняя челюсть	II	2,8	3,6	1,6	1,7	2,0	1,2	1,4
	I	411	521	238	245	295	171	203
Зубная формула		7	6	5	4	3	2	1
Нижняя челюсть	I	346	384	226	206	223	172	144
	II	2,4	2,7	1,6	1,4	1,5	1,2	1,0
Примечание: за единицу выносливости принята площадь корня нижнего центрального резца как наименьшая; I — площадь поверхности корней зубов верхней и нижней челюстей (мм ²); II — коэффициенты выносливости пародонта зубов верхней и нижней челюстей								

На третьем этапе программа выдает заключение о целесообразности ортопедического лечения с применением мостовидного протеза или, наоборот, о наличии

Таблица 2.
Критерии оценки опорных зубов

№	Критерии оценки опорных зубов	Значения	Алгоритм определения коэффициента потери резервных сил пародонта
1	Степень атрофии лунки	нет атрофии	не меняется
		1/6	снижается на 20 %
		2/6	снижается на 30 %
		3/6	снижается на 40 %
		4/6	снижается на 50 %
		5/6	снижается на 60 %
2	Витальность зубов	витальные	не меняется
		девитальные	снижается на 25 %
3	Изменения в периапикальных тканях	наличие	снижается на 30 %
		отсутствие	не меняется
4	Наличие антагонистов	наличие	не меняется
		отсутствие	снижается на 10 %
5	Соотношение высоты коронки и длины корня при условии сохранения устойчивости зуба	норма 1/2	не меняется
		длина корня меньше нормы на 1 мм	снижается на 5 %
		длина корня меньше нормы на 2 мм	снижается на 10 %
		длина корня меньше нормы на 3 мм	снижается на 15 %
		длина корня меньше нормы на 4 мм	снижается на 20 %
		длина корня меньше нормы на 5 мм	снижается на 25 %
		длина корня меньше нормы на 6 мм	снижается на 30 %
		длина корня меньше нормы на 7 мм	снижается на 35 %
		длина корня меньше нормы на 8 мм	снижается на 40 %
		длина корня меньше нормы на 9 мм	снижается на 45 %
		длина корня меньше нормы на 10 мм	снижается на 50 %
6	Устойчивость зубов	есть подвижность	0
		устойчивые без признаков поражения пародонта	не меняется
		устойчивые, но имеют признаки поражения пародонта	снижается на 25 %

обнаруженных противопоказаний для его применения в конкретном клиническом случае с учетом всех полученных коэффициентов выносливости пародонта. Если полученная с помощью программы сумма коэффициентов опорных зубов будет меньше суммы коэффициентов удаленных зубов, то это следует признать противопоказанием для применения мостовидного протеза (рис. 2).

В данном клиническом случае (рис. 1 и 2) ортопедическое лечение с применением мостовидного протеза не показано, так как 4.6 депульпирован, имеет очаг хронического воспаления в периапикальных тканях дистального корня, степень атрофии лунки соответствует 1/6, а 4.8 имеет низкую клиническую коронку.

Для определения преимуществ сочетанного применения разработанной нами методики определения показаний и цифровой технологии изготовления мостовидных протезов было проведено обследование 30-ти пациентов (20 мужчин и 10 женщин) в возрасте от 32 до 68 лет. Пациенты были распределены на 2 группы.

Первую составили 14 пациентов (9 мужчин и 5 женщин) в возрасте от 35 до 65 лет, у которых ортопедическое лечение при частичной потере зубов проводилось с применением 14 металлокерамических мостовидных протезов на каркасах из КХС, изготовленных по традиционной технологии литья.

Вторую группу составили 16 пациентов (11 мужчин и 5 женщин) в возрасте от 32 до 68 лет, ортопедическое лечение которых проводилось с применением цифровой методики определения показаний и цифровой технологии изготовления 6 мостовидных протезов на титановых каркасах и 10 цельнокерамических на каркасах из диоксида циркония.

Для оценки полученных результатов применяли балльную оценку критериев, представленных в таблице 3, при этом максимальный балл составлял 5, а минимальный 0, с шагом в 1 балл. Для достижения наиболее точных результатов оценку проводили 3 независимых врача-эксперта.

Для статистического анализа полученных результатов применяли точный тест Фишера. В данном исследовании при сравнении двух групп нулевая гипотеза отвергается на уровне статистической значимости $p < 0,00714$, т.к. при расчете критического уровня значимости была введена поправка Бонферрони для учета множественных сравнений: $0,00714 = 0,05 / 7$, где 0,05 — общепринятое значение критического уровня значимости для одинарного сравнения в медико-биологических исследованиях, а 7 — число сравнений.



Рис. 2. Экранная форма с демонстрацией заключения о нецелесообразности ортопедического лечения с применением мостовидного протеза

Результаты и обсуждение

Результаты сочетанного применения методики определения показаний и цифровой технологии изготовления мостовидных протезов представлены в таблице 3. Общее количество баллов после оценки у 14 пациентов 14 металлокерамических мостовидных протезов на каркасах из КХС, изготовленных по традиционной технологии, составило 369 баллов, а после оценки у 16 пациентов 6 мостовидных протезов на титановых каркасах и 10 цельнокерамических на каркасах из диоксида циркония, изготовленных по цифровой технологии, составило 556 баллов.

Применение автоматизированного расчета коэффициентов выносливости пародонта опорных зубов с учетом персонафицированных показателей было использовано только при сочетанном применении методики определения показаний и цифровой технологии изготовления мостовидных протезов. При этом точность определения показаний к применению мостовидных протезов при применении цифровых технологий была оценена как достоверно наибольшая в сравнении с традиционным методом ($p < 0,00714$).

Таблица 3.

Результаты сочетанного применения методики определения показаний и цифровой технологии изготовления мостовидных протезов

№	Критерии	Группы	Результаты балльной оценки**							p
			0	1	2	3	4	5	всего	
1	Возможность применения автоматизированного расчета коэффициентов выносливости пародонта опорных зубов с учетом персонафицированных показателей*	1-я группа (традиционный метод)	14	0	0	0	0	0	0	0,0005
		2-я группа (цифровой сочетанный метод)	0	0	0	0	0	16	80	
2	Точность определения показаний к применению мостовидных протезов*	1-я группа (традиционный метод)	0	0	0	3	4	7	60	0,002
		2-я группа (цифровой сочетанный метод)	0	0	0	0	0	16	80	
3	Оценка пациентами целесообразности применения мостовидных протезов в данной клинической ситуации*	1-я группа (традиционный метод)	0	0	0	2	4	8	62	0,0045
		2-я группа (цифровой сочетанный метод)	0	0	0	0	0	16	80	
4	Оценка пациентами степени комфорта при проведении клинических приемов ортопедического лечения*	1-я группа (традиционный метод)	0	0	0	6	7	1	51	0,0005
		2-я группа (цифровой сочетанный метод)	0	0	0	0	0	16	80	
5	Оценка качества готового протеза	1-я группа (традиционный метод)	0	0	0	0	6	8	64	0,102
		2-я группа (цифровой сочетанный метод)	0	0	0	0	2	14	78	
6	Оценка пациентом готового протеза сразу после его наложения	1-я группа (традиционный метод)	0	0	0	0	6	8	64	0,103
		2-я группа (цифровой сочетанный метод)	0	0	0	0	2	14	78	
7	Оценка пациентом протеза в процессе пользования	1-я группа (традиционный метод)	0	0	0	0	2	12	68	0,212
		2-я группа (цифровой сочетанный метод)	0	0	0	0	0	16	80	

Примечание. * — различия статистически значимы по критерию Фишера на уровне $p < 0,00714$; ** — приведены средние баллы после оценки предложенных критериев 3-мя врачами-экспертами.

Благодаря высокой информативности и наглядности разработанной программы для ЭВМ «Цифровая методика определения показаний к применению мостовидных протезов», в сравнении с традиционным методом планирования ортопедического лечения, была получена возможность быстро и в доступной форме показать пациентам обоснованность и целесообразность применения мостовидных протезов.

Оценка пациентами степени комфорта при проведении клинических приемов ортопедического лечения с применением цифровых технологий была достоверно существенно больше в сравнении с традиционной технологией изготовления мостовидных протезов ($p < 0,00714$). На наш взгляд, это связано с применением внутриротного метода получения цифровых изображений зубных рядов взамен традиционным методам получения оттисков с использованием слепочных ложек и оттисковых материалов.

Результаты балльной оценки качества готового мостовидного протеза, изготовленного с применением CAD/CAM системы, также были выше в сравнении с традиционным методом, что обусловлено отсутствием необходимости проведения трудоемкой коррекции каркаса мостовидного протеза.

Результаты балльной оценки пациентом готового мостовидного протеза, изготовленного с применением цифровых технологий, сразу после его наложения и в процессе пользования, были выше в сравнении с традиционным методом.

Таким образом, сочетанное применение методики определения показаний и цифровой технологии изготовления мостовидных протезов существенно повышает эффективность ортопедического лечения пациентов с частичной потерей зубов.

В свете этих данных представляет интерес методика планирования ортопедического лечения с помощью мостовидных протезов, предложенная Е.Н. Жулевым [5], в которой выносимость пародонта оценивается лишь трехпозиций: степени атрофии лунки зуба, подвижности зубов и площади их корней. Недостатком данной методи-

ки является использование автором условных коэффициентов выносимости пародонта, выведенных на основании, во-первых, усредненных анатомических значений площади корней опорных зубов и, во-вторых, без учета факторов, снижающих резервные силы пародонта.

Известна также предложенная О.М. Брагиной с соавт. [6] экспертная система определения показаний для применения металлокерамических мостовидных протезов. В базе данных, созданных автором, хранится описание рекомендаций для различных сочетаний клинических признаков. Система выводит рекомендацию, соответствующую выбранным значениям. Для случаев, не описанных в базе знаний, система выводит сообщение «Необходимо получить дополнительные данные обследования пациента». Принципиальным отличием предложенной нами цифровой методики является автоматизированное определение ведущих объективных клинических симптомов, влияющих на состояние резервных сил пародонта.

Заключение

Разработанная «Цифровая методика определения показаний к применению мостовидных протезов» [свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023611030 от 16.01.2023] обеспечивает автоматизированный процесс оценки клинической картины и планирования ортопедического лечения с учетом многофакторного анализа выносимости пародонта по специально разработанной программе, в задачи которой входило определение степени атрофии альвеолярной части лунки опорных зубов, протяженности дефекта зубного ряда, состояния опорных зубов (витальность, устойчивость, изменения в периапикальных тканях, соотношение высоты коронки и длины корня и окклюзионные взаимоотношения — наличие или отсутствие антагонистов), с одновременным автоматизированным расчетом коэффициентов выносимости пародонта с учетом площади поверхности корней зубов и завершающим формированием заключения о целесообразности применения мостовидного протеза или, наоборот, о наличии противопоказания для его применения в данной клинической ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагнер В.Д., Семенюк В.М., Чекунов О.В. Путеводитель по стоматологии ортопедической. М.: Медицинская книга; Н. Новгород: НГМА, 2004.
2. Комлев С.С., Пугачев С.А., Бажутова И.В., Галтеева Д.А., Зимнурова А.М. Экспериментальный расчет напряженно-деформированных состояний трехэлементного мостовидного протеза. Российская стоматология. 2023;16(2):35–40.
3. Гелетин Н.А. Методики измерения резервных сил тканей пародонта (обзор литературы). Студенческий вестник. 2019;26-1(76):69–71.
4. Ортопедическая стоматология: национальное руководство: том 2. Под ред. Лебедеико И.Ю., Арутюнова С.Д., Ряховского А.Н. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2022.
5. Жулев Е.Н. Несъемные протезы: теория, клиника и лабораторная техника. Н. Новгород: НГМА, 1995.
6. Брагина О.М., Жулев Е.Н., Демин Д.Н. Экспертная система определения показаний для применения металлокерамических мостовидных протезов // Современные проблемы науки и образования: электронный журнал. 2015;1-1:1388. Ссылка активна на 02.01.2024. <https://science-education.ru/article/view?id=18493>

ПЕРЕДНИЙ ВНЕБРЮШИННЫЙ И ЗАДНИЙ ТРАНСФОРАМИНАЛЬНЫЙ СПОНДИЛОДЕЗ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ОДНОУРОВНЕВОГО ПОРАЖЕНИЯ МЕЖПОЗВОНКОВОГО ДИСКА L5-S1 У ПАЦИЕНТОВ С ОЖИРЕНИЕМ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

ANTERIOR EXTRAPERITONEAL AND POSTERIOR TRANSFORAMINAL SPONDYLOSIS IN THE SURGICAL TREATMENT OF SINGLE-LEVEL L5-S1 INTERVERTEBRAL DISC LESIONS IN OBESE PATIENTS. COMPARATIVE ANALYSIS

**Ya. Grebenyuk
D. Zhukov
E. Kim
A. Kokoreva**

Summary. Purpose of the study. Comparative analysis of clinical efficacy and safety of indirect decompression of spinal cord roots and interbody spondylodesis from anterior extraperitoneal and posterior transforaminal spondylodesis in surgical treatment of unisegmental lesion of L5-S1 intervertebral disc in obese patients.

Material and Methods. A retrospective comparative analysis of the treatment of 87 patients with obesity and unisegmental lesion of the intervertebral disc L5-S1 was performed. Anterior lumbar interbody fusion (ALIF) was performed in 35 cases, transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) with transpedicular fixation by 4-screw system — in 52 cases.

Results: postoperatively, patients in both groups had a significant reduction in pain according to the NRS scale. The ODI quality of life assessment also showed a positive dynamic in both groups. However, the ALIF group showed a lower level of back pain and lower ODI scores in the early postoperative period, as well as a statistically confirmed advantage over TLIF in the NRS score. Long-term surgical results demonstrate comparable efficacy of the techniques. Patients operated with ALIF compared to TLIF have a comparable number of postoperative complications.

Conclusions: Anterior extraperitoneal spondylodesis is an effective and safe method of surgical treatment of single-level lesions of the L5-S1 intervertebral disc in obese patients. This technique allows to reduce the traumatic nature of surgery and the severity of pain syndrome in the early postoperative period. Further multicenter randomized studies are necessary for comprehensive evaluation of the long-term results.

Keywords: Anterior extraperitoneal spondylodesis, posterior transthoracic spondylodesis, spine surgery.

Гребенюк Ярослав Дмитриевич

Главный военный клинический
Госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко, г. Москва
grebenuk@66neuro.ru

Жуков Денис Игоревич

Главный военный клинический
Госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко, г. Москва

Ким Эдуард Анатольевич

Главный военный клинический
Госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко, г. Москва

Кокорева Анастасия Юрьевна

Главный военный клинический
Госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко, г. Москва

Аннотация. Цель исследования. Сравнительный анализ клинической эффективности и безопасности не прямой декомпрессии корешков спинного мозга и межтелового спондилодеза из переднего внебрюшинного и заднего трансфораминального спондилодеза при хирургическом лечении одноуровневого поражения межпозвонкового диска L5-S1 у пациентов ожирением.

Материал и методы. Выполнен ретроспективный сравнительный анализ лечения 87 пациентов, страдающих ожирением, с одноуровневым поражением межпозвонкового диска L5-S1. Переднее поясничное межтеловое сращение (ALIF) выполнено в 35 случаях, трансфораминальное поясничное межтеловое сращение (TLIF) с транспедикулярной фиксацией 4-х винтовой системой в 52 случаях.

Результаты. После проведения операции у пациентов обеих групп отмечалось значительное уменьшение боли по шкале ЦРШ. Оценка качества жизни по шкале ODI также показала четкую положительную динамику в обеих группах. Однако группа ALIF показала меньший уровень болевого синдрома в спине и более низкие показатели ODI в раннем послеоперационном периоде. Отдаленные исходы операции демонстрируют сопоставимую эффективность методов. Пациенты, оперированные методом ALIF по сравнению TLIF, имеют сопоставимое количество послеоперационных осложнений.

Заключение. Передний внебрюшинный спондилодез является эффективным и безопасным методом оперативного лечения одноуровневого поражения межпозвонкового диска L5-S1 у пациентов с ожирением. Данная методика позволяет уменьшить травматичность операции, выраженность болевого синдрома в раннем послеоперационном периоде. Необходимы дальнейшие мультицентровые рандомизированные исследования для комплексной оценки долгосрочных результатов.

Ключевые слова: передний внебрюшинный спондилодез, задний трансфораминальный спондилодез, хирургия позвоночника.

Актуальность

Согласно данным ВОЗ, с 1975 по 2016 год число людей, страдающих ожирением, во всем мире выросло более чем втрое. В наше время около полутора миллиардов человек страдают от избыточной массы тела и ожирения. Данные ВОЗ от 2016 г. 39 % взрослых старше 18 лет (39 % мужчин и 40 % женщин) имели избыточный вес [1]. Число женщин и мужчин с ожирением в мире, в 2022 году составило 504 миллиона и 374 миллиона, соответственно, что на 377 миллионов и 307 миллионов больше, по сравнению с 1990 годом [10]. В связи с распространением ожирения прослеживается тенденция увеличения количества пациентов нуждающихся в хирургическом лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника, имеющих ожирение. Предполагается, что ожирение способствует развитию дегенеративно-дистрофических изменений в межпозвонковых дисках [2,3,8]. Проблема хирургического лечения болевого синдрома при ДДЗП у лиц, страдающих ожирением крайне актуальна в настоящее время так как, в настоящее время мы не имеем рекомендаций или руководств по хирургическому лечению пациентов с ДДЗП и ожирением, по тактике ведения данных пациентов в пред и послеоперационном периоде, техническим особенностям проведения операций. При неэффективности консервативной терапии с целью восстановления лордоза, декомпрессии невралгических структур и коррекции деформации наиболее популярными методами, используемыми для артродеза на уровне L5-S1, являются

переднее поясничное межтеловое сращение (ALIF) (рис. 1) и трансфораминальное поясничное межтеловое сращение (TLIF) (рис. 2). Каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки. Исследования сравнивающие эти методы у пациентов по частоте осложнений и скорости сращения не показали существенных различий [5,9]. Часто публикации оценивают уровень послеоперационного болевого синдрома и особенности послеоперационного восстановления пациентов, но зачастую избыточный лишний вес и ожирение являются критерием исключения пациента из исследования [4]. Единичные публикации утверждают об отсутствии влияния ожирения на клинические исходы у пациентов перенесших поясничный спондилодез [11, 12].

Цель исследования

Сравнительный анализ клинической эффективности и безопасности заднего трансфораминального и переднего внебрюшинного спондилодеза при хирургическом лечении одноуровневого поражения межпозвонкового диска (L5-S1) пояснично-крестцового отдела позвоночника у пациентов с ожирением

Материал и методы

Выполнен ретроспективный сравнительный анализ лечения 87 пациентов, страдающих ожирением, возрастом от 21 до 77 лет с одноуровневым поражением межпозвонкового диска L5-S1 в пояснично-крестцовом

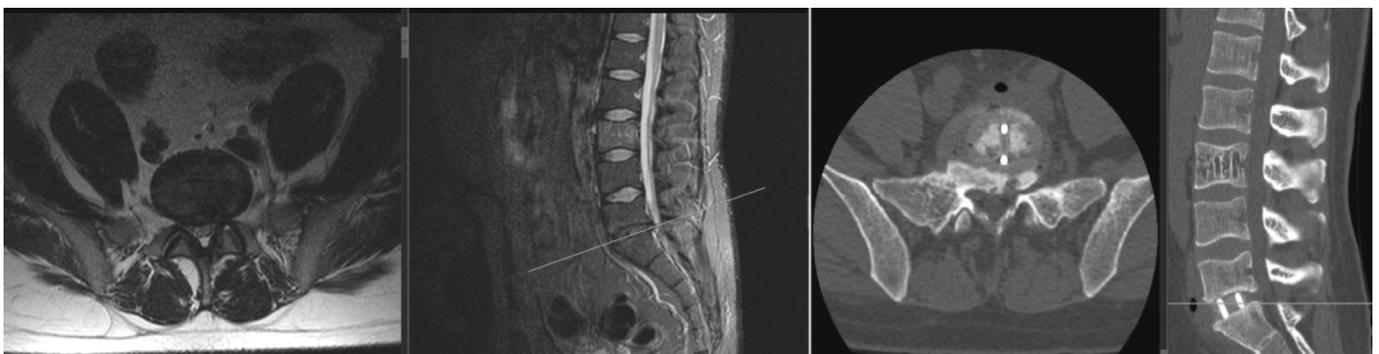


Рис. 1. ALIF. Результаты МРТ до операции и послеоперационный КТ контроль

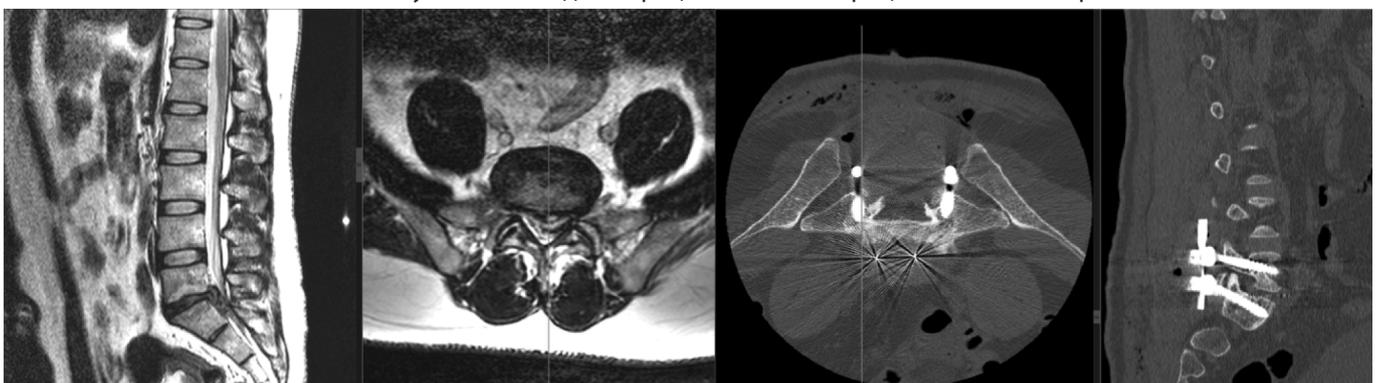


Рис. 2. TLIF. Результаты МРТ до операции и послеоперационный КТ контроль

отделе позвоночника. В 1-ю группу вошли 35 пациентов после тотального удаления межпозвонкового диска передним забрюшинным доступом с ригидным спондилодезом имплантатом, во 2-ю 52 пациентов после задней дискэктомии, спондилодеза имплантатом и транспедикулярной фиксации 4-х винтовой системой. Достигнутый результат оценивали лучевыми методами исследования, а также при помощи стандартизированных шкал, анкет и опросников.

Критерии включения пациентов в исследование: индекс массы тела больше 30, срединная диффузная, реже латерализованная диффузная грыжа одного МПД L5–S1 без или в сочетании со спондилолистезом 1 степени и/или явлениями нестабильности в указанном позвоночно-двигательном сегменте, клинические проявления в виде резистентного к курсам консервативной терапии болевой синдром с неврологическим дефицитом, характерным для компрессии структур периферической нервной системы.

Критерии исключения: многоуровневое симптомное поражение МПД, комбинированный стеноз позвоночного канала, спондилолистез 2 и более степеней, воспалительные заболевания, заболевания соединительной ткани, тяжелая сопутствующая соматическая патология, нарушения иммунной системы, остеопороз, выраженная кальцификация аорто-подвздошного комплекса.

Протокол обследования, отражающий клинико-морфологическое состояние пациентов до оперативного вмешательства, включил в себя: неврологический осмотр, результаты лучевых методов исследования (МРТ, КТ, спондилографию с функциональными пробами), оценку боли в спине и ногах с помощью цифровой рейтинговой шкалы для боли (ЦРШ), оценку ограничения жизнедеятельности болью в спине/ногах с помощью опросника Oswestry. Эффект от хирургического лечения оценивали по результатам контрольных неврологических осмотров, оценки болевого синдрома и с помощью стандартизированных шкал, анкет и опросников (ODI, ЦРШ). Ранние результаты хирургического лечения оценивались в день выписки из стационара, отдаленные результаты хирургического лечения в среднем на 6 и 12-й месяц с момента операции.

Оперативная техника. В первой группе удаление межпозвонкового диска выполнялось из проекционного поперечного разреза длиной от 6 до 11 см (в зависимости от антропометрических данных пациента) в левой подвздошной области. В рамках предоперационной подготовки мы самостоятельно выполняли анализ данных КТ, МРТ, учитывая: локализацию сосудов аорто-подвздошного комплекса, размер промежутка между аортой и левой большой поясничной мышцей, калибр поясничных сегментарных артерий, а также наличие

добавочных почечных артерий, сосудистых аномалий. Интраоперационно брюшина и мочеточник на стороне вмешательства деликатно отводились медиально. С целью обеспечения защиты мобилизованных и смещенных анатомических образований выполнялась установка ретрактора Synframe. Далее используя специальный инструментарий, выполнялось иссечение межпозвонкового диска, устранение компрессии невральных структур, подготовка замыкательных пластин с последующей стабилизацией ригидным имплантатом.

Проводимая во второй группе задняя дискэктомия, спондилодез имплантатом и транспедикулярной фиксации 4-х винтовой системой не отличалась от общепринятой [6]

Описание методов статистического анализа. Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.1.5 (разработчик — ООО «Статтех», Россия).

Количественные показатели оценивались на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (при числе исследуемых менее 50) или критерия Колмогорова-Смирнова (при числе исследуемых более 50).

Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывались с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), границ 95 % доверительного интервала (95 % ДИ).

В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1 — Q3).

Категориальные данные описывались с указанием абсолютных значений и процентных долей.

Сравнение двух групп по количественному показателю, имеющему нормальное распределение, при неравных дисперсиях выполнялось с помощью t-критерия Уэлча.

Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполнялось с помощью U-критерия Манна-Уитни.

Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Сравнение процентных долей при анализе многопольных таблиц сопряженности выполнялось с помощью критерия хи-квадрат Пирсона.

Результаты

Между сравниваемыми группами ALIF и TLIF не было выявлено статистически значимых различий ($p > 0,05$)

по возрасту, полу, ИМТ, клинической картине и длительности симптомов до операции, по оценке неврологического статуса, предоперационному диагнозу, локализации пораженного межпозвонкового диска, оценке боли по цифровой рейтинговой шкале (ЦРШ) в спине и ноге до операции, оценке здоровья (ODI — Oswestry Disability Index), срокам наблюдения (табл. 1).

Таблица 1.

Демографическая характеристика

Показатели	Метод лечения		p
	ALIF	TLIF	
Возраст (Год), Me [IQR]	49,00 [40,50; 54,00]	55,00 [42,00; 64,00]	0,061
ИМТ, Me [IQR]	34,80 [33,75; 36,80]	35,35 [33,35; 37,73]	0,576
Предоперационный показатель числовой рейтинговой шкалы для боли в ноге, Me [IQR]	8,00 [7,00; 9,00]	8,00 [7,00; 9,00]	0,460
Предоперационный показатель числовой рейтинговой шкалы для боли в спине, Me [IQR]	4,00 [3,50; 5,00]	5,00 [4,00; 6,00]	0,081
Предоперационный показатель шкалы Oswestry Disability Index (ODI), Me [IQR]	40,00 [30,00; 50,00]	42,50 [36,00; 52,00]	0,154

Общие данные о продолжительности проведенных операций, количестве дней госпитализации и объеме кровопотери отражены в таблице 2.

Таблица 2.

Клинические данные

Показатели	Метод лечения		p
	ALIF	TLIF	
Время операции (Минут), M (SD)	142,71 (21,19)	170,77 (31,63)	<0,001*
Продолжительность лечения (День), Me [IQR]	7,00 [5,50; 8,00]	7,50 [6,50; 9,25]	0,410
Кровопотеря (Миллилитры), Me [IQR]	60,00 [50,00; 75,00]	160,00 [140,00; 192,50]	<0,001*

В результате анализов данных получены статистически значимые различия в обеих группах по продолжительности операций, примерному объему кровопотери. Активизация пациентов обеих групп осуществлялась на следующий день после операции. У первой группы пациентов режим активности был значительно шире, ввиду менее выраженного болевого синдрома в области послеоперационной раны. При сопоставлении продолжительности лечения в зависимости от метода лечения не удалось установить статистически значимых разли-

чий. Ранние результаты хирургического лечения для исследуемых групп, оцениваемые в день выписки, позволили выявить к преимуществу в пользу ALIF методики. TLIF требует рассечения паравертебральных мышц для установки металлоконструкции. Послеоперационная атрофия паравертебральных мышц тесно связана с денервацией паравертебральных мышц, наличием послеоперационной боли в пояснице у некоторых пациентов. ALIF не требует диссекции паравертебральных мышц, что теоретически приводит к более низкой послеоперационной боли.

Показатели цифровой рейтинговой шкалы для боли (ЦРШ) в спине у пациентов первой группы были достоверно ниже (p <0,001), этим же фактором объясняется более низкие показатели при оценке показателей шкалы ODI на момент выписки. (Таблицы 3, 4). В то же время, при оценке показателя ЦРШ для боли в ноге статистически значимых различий установить не удалось. (Таблица 5).

Таблица 3.

Анализ показателя числовой рейтинговой шкалы для боли в спине на момент выписки в зависимости от метода лечения

Показатель	Категории	Показатель числовой рейтинговой шкалы для боли в спине на момент выписки			p
		Me	Q ₁ — Q ₃	n	
Метод лечения	ALIF	1,00	0,00 — 2,00	35	< 0,001*
	TLIF	2,00	1,00 — 4,00	52	

Таблица 4.

Анализ показателя шкалы Oswestry Disability Index (ODI) в зависимости от метода лечения

Показатель	Категории	Показатель шкалы Oswestry Disability Index (ODI) на момент выписки			p
		Me	Q ₁ — Q ₃	n	
Метод лечения	ALIF	22,00	15,00 — 30,00	35	0,020*
	TLIF	24,50	20,00 — 34,00	52	

Таблица 5.

Анализ Показателя числовой рейтинговой шкалы для боли в ноге на момент выписки в зависимости от метода лечения

Показатель	Категории	Показатель числовой рейтинговой шкалы для боли в ноге на момент выписки			p
		Me	Q ₁ — Q ₃	n	
Метод лечения	ALIF	2,00	1,00 — 3,00	35	0,204
	TLIF	2,00	1,00 — 3,00	52	

В результате анализа ЦРШ спины через 6 и 12 месяцев, ODI через 6 месяцев после операции, отмечено

значительное уменьшение выраженности болевого синдрома по ЦРШ спины в обеих группах, однако исходы в первой группе (ALIF) статистически лучше. При оценке показателей ЦРШ ноги через 6, 12 месяцев после операции, а также ODI через 12 месяцев установить статистически значимых различий не удалось, что свидетельствует о сопоставимой эффективности методов при оценке отдаленных исходов операции. Отдаленные результаты оперативного лечения указанными методиками представлены в таблице 6.

Таблица № 6.

Данные анкетирования обеих групп через 6 и 12 месяцев после операции

Показатели	Метод лечения	Me	Q1 — Q3	n	p
Показатель ЦРШ ноги через 6 месяцев после операции	ALIF	1,00	0,00 — 2,00	35	0,894
	TLIF	1,00	0,00 — 2,00	52	
Показатель ЦРШ спины через 6 месяцев после операции	ALIF	0,00	0,00 — 1,00	35	<0,001*
	TLIF	1,00	1,00 — 2,00	52	
Показатель ODI через 6 месяцев после операции	ALIF	14,00	10,00 — 20,00	35	0,008*
	TLIF	20,00	16,00 — 24,00	52	
Показатель ЦРШ ноги через 12 месяцев после операции	ALIF	1,00	0,00 — 1,00	35	0,501
	TLIF	1,00	0,00 — 1,00	52	
Показатель ЦРШ спины через 12 месяцев после операции	ALIF	0,00	0,00 — 1,00	35	0,024*
	TLIF	1,00	0,00 — 1,00	52	
Показатель ODI через 12 месяцев после операции	ALIF	8,00	6,00 — 14,00	35	0,634
	TLIF	8,00	0,00 — 14,00	52	

Доля периоперационных осложнений, в первой группе составила 2,9 %, что незначительно ниже аналогичного показателя второй группы 5,7 %. Статистически значимого различия между группами установить не удалось. У одного пациента первой группы развилась ретроградная эякуляция, которая самостоятельно регрессировала в течение 5 месяцев. Среди пациентов второй группы у двух пациентов было отмечено повреждение твердой мозговой оболочки что потребовало ушивания ее дефекта во время операции, дополнительной герметизации искусственным аналогом ТМО, благодаря чему удалось избежать послеоперационной ликвореи. Также во второй группе выполнено одно повторное оперативное вмешательство по поводу некорректной постановки винта в тело позвонка. Указанные осложне-

ния и выполненные по их поводу оперативные вмешательства не повлияли на конечный исход оперативного лечения, желаемый результат был достигнут во всех случаях. По количеству повторных операций статистически значимых различий в группах сравнения не получено. Инфекционные осложнения в обеих группах отсутствовали, чему способствовала интра и постоперационная антибиотикотерапия, а также дополнительный акцент на уходе за послеоперационной раной ввиду наличия публикаций, свидетельствующих о повышенном риске инфицирования у пациентов, страдающих ожирением [7].

Ограничения и перспективы исследования. Значительным ограничением нашего исследования является ретроспективный характер исследования и небольшой размер выборки. Все операции были выполнены тремя нейрохирургами одного медицинского учреждения, что ограничивало внешнюю достоверность представленных результатов. Кроме того, не были оценены рентгенографические показатели, такие как параметры сагиттального баланса что является важным направлением для будущих исследований. Так же учитывая субъективность анкетирования, возможно искажение итогов исследования. Несмотря на все ограничения, полученные результаты исследования дают важные сведения для оценки безопасности и эффективности данных методов что может помочь в организации дальнейших проспективных рандомизированных исследований для формулирования показаний и ограничений при выборе метода хирургического лечения одноуровневого поражения межпозвонкового диска L5-S1 у пациентов с ожирением.

Выводы

По основным показателям клинической эффективности оба исследуемых метода оперативного лечения демонстрируют сопоставимые результаты. Пациенты обеих групп отметили улучшение функционального статуса в виде снижения выраженности болевого синдрома в спине и ноге, а также улучшение показателя ODI. Однако группа ALIF показала меньший уровень болевого синдрома в спине и более низкие показатели ODI в раннем послеоперационном периоде, а так же статистически подтвержденное преимущество над TLIF при оценке показателей ЦРШ спины через 6 и 12 месяцев и ODI через 6 месяцев после операции что подтверждает важность уменьшения повреждения паравертебральных мышц для ускоренного послеоперационного восстановления пациентов. Меньшая травматичность методики подтверждена достоверно меньшим временем хирургического вмешательства. В то же время, при оценке показателей ЦРШ ноги на момент выписки, через 6, 12 месяцев после операции, а также ODI через 12 месяцев установить статистически значимых различий не удалось, что свидетельствует о сопоставимой эффективности методов при оценке отдаленных исходов операции. Паци-

енты, оперированные методом ALIF по сравнению TLIF, имеют сопоставимое количество послеоперационных осложнений.

Заключение

Передний внебрюшинный спондилодез является эффективным и безопасным методом оперативного лечения одноуровневого поражения межпозвонково-

го диска L5-S1 у пациентов с ожирением. Данная методика позволяет уменьшить травматичность операции, выраженность болевого синдрома в раннем послеоперационном периоде. Необходимы дальнейшие мультицентровые рандомизированные исследования для комплексной оценки долгосрочных результатов.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Okunogbe A., Nugent R., Spencer G., Ralston J., & Wilding J. (2021). Economic impacts of overweight and obesity: current and future estimates for eight countries. *BMJ global health*, 6(10), e006351. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2021-006351>
- Jakoi A.M., Pannu G., D'Oro A., Buser Z., Pham M.H., Patel N.N., Hsieh P.C., Liu J.C., Acosta F.L., Hah R., & Wang J. C. (2017). The Clinical Correlations between Diabetes, Cigarette Smoking and Obesity on Intervertebral Degenerative Disc Disease of the Lumbar Spine. *Asian spine journal*, 11(3), 337–347. <https://doi.org/10.4184/asj.2017.11.3.337>
- Samartzis D., Karppinen J., Chan D., Luk K.D., & Cheung K.M. (2012). The association of lumbar intervertebral disc degeneration on magnetic resonance imaging with body mass index in overweight and obese adults: a population-based study. *Arthritis and rheumatism*, 64(5), 1488–1496. <https://doi.org/10.1002/art.33462>
- Moses Z.B., Razvi S., Oh S.Y., Platt A., Keegan K.C., Hamati F., Witiw C., David B.T., Fontes R.B.V., Deutsch H., O'Toole, J.E., & Fessler R.G. (2021). A retrospective comparison of radiographic and clinical outcomes in single-level degenerative lumbar disease undergoing anterior versus transforaminal lumbar interbody fusion. *Journal of spine surgery (Hong Kong)*, 7(2), 170–180. <https://doi.org/10.21037/jss-20-673>
- Phan K., Thayaparan G.K., & Mobbs R.J. (2015). Anterior lumbar interbody fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion — systematic review and meta-analysis. *British Journal of Neurosurgery*, 29(5), 705–711. <https://doi.org/10.3109/02688697.2015.1036838>
- Mobbs R.J., Phan K., Malham G., Seex K., & Rao P.J. (2015). Lumbar interbody fusion: techniques, indications and comparison of interbody fusion options including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF. *Journal of spine surgery (Hong Kong)*, 1(1), 2–18. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2414-469X.2015.10.05>
- Miller E.M., & McAllister B.D. (2022). Increased risk of postoperative wound complications among obesity classes II & III after ALIF in 10-year ACS-NSQIP analysis of 10,934 cases. *The spine journal: official journal of the North American Spine Society*, 22(4), 587–594. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.11.010>
- Delgado-López P.D., & Castilla-Díez J.M. (2018). Impacto de la obesidad en la fisiopatología de la enfermedad degenerativa discal y en la morbilidad y resultados de la cirugía de columna lumbar [Impact of obesity in the pathophysiology of degenerative disk disease and in the morbidity and outcome of lumbar spine surgery]. *Neurocirugía (English Edition)*, 29(2), 93–102. <https://doi.org/10.1016/j.neucir.2017.06.002>
- Teng I., Han J., Phan K., & Mobbs R. (2017). A meta-analysis comparing ALIF, PLIF, TLIF and LLIF. *Journal of clinical neuroscience: official journal of the Neurosurgical Society of Australasia*, 44, 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2017.06.013>
- NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC) (2024). Worldwide trends in underweight and obesity from 1990 to 2022: a pooled analysis of 3663 population-representative studies with 222 million children, adolescents, and adults. *Lancet (London, England)*, 403(10431), 1027–1050. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(23\)02750-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(23)02750-2)
- Djurasovic M., Bratcher K.R., Glassman S.D., Dimar J.R., & Carreon L.Y. (2008). The effect of obesity on clinical outcomes after lumbar fusion. *Spine*, 33(16), 1789–1792. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31817b8f6f>
- Goyal A., Elminawy M., Kerezoudis P., Lu V.M., Yolcu Y., Alvi M.A., & Bydon M. (2019). Impact of obesity on outcomes following lumbar spine surgery: A systematic review and meta-analysis. *Clinical neurology and neurosurgery*, 177, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2018.12.012>

© Гребенюк Ярослав Дмитриевич (grebenuk@66neuro.ru); Жуков Денис Игоревич; Ким Эдуард Анатольевич; Кокорева Анастасия Юрьевна

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МЕТОДЫ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ КОРИ У ДЕТЕЙ

METHODS FOR EARLY DIAGNOSIS OF MEASLES IN CHILDREN

Z. Kisieva

Summary. The article examines the causative factors for the development of measles among children, including the peculiarities of the virulence of the virus. The clinical signs of the disease are described, which, due to their similarity with many other infectious diseases occurring in children, often make timely diagnosis difficult. But, for the purpose of early diagnosis, examination data and methods necessary for timely making an accurate diagnosis, as well as preventing the development of complications, which are frequent manifestations of this viral disease, are presented.

Keywords: measles, virulence, Koplik's spots, immunoglobulin M, vaccination.

Кисиева Залина Ахсарбековна

Доцент, Северо-Осетинская государственная
медицинская академия
zalinakisiewa@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены причинные факторы развития кори среди детей, включая и особенность вирулентности вируса. Описаны клинические признаки заболевания, которые ввиду схожести со многими другими инфекционными заболеваниями, встречающимися у детей, нередко затрудняют своевременную диагностику. Но, с целью ранней диагностики приведены данные обследования и методы, необходимые для постановки точного диагноза, а также предупреждения развития осложнений, которые являются частыми проявлениями данного вирусного заболевания.

Ключевые слова: корь, вирулентность, Копликовы пятна, иммуноглобулин М, вакцинация.

Корь остается актуальной проблемой здравоохранения в некоторых регионах мира. Несмотря на то, что вакцинация является эффективным средством предотвращения кори, ее контроль и искоренение в некоторых областях оказываются сложными из-за ряда следующих факторов:

- недостаточная вакцинация: низкие уровни вакцинации в некоторых регионах или у определенных групп населения могут привести к вспышкам кори;
- географические и социальные барьеры: в ряде стран с ограниченным доступом к медицинской помощи или в условиях конфликтов географические или социальные факторы могут затруднять доставку вакцин и медицинскую помощь;
- антивакцинаторские движения: некоторые сообщества или группы населения отклоняют вакцинацию по различным причинам, что также может способствовать возникновению вспышек кори;
- глобальная мобильность: перемещение людей между странами увеличивает риск передачи инфекции и появления новых вспышек.

Поэтому даже в странах с высокими уровнями вакцинации корь остается актуальной проблемой из-за потенциального риска импорта инфекции из других регионов.

Несмотря на то что, среди возможных основных путей выделяют три пути, это воздушно-капельный [1], контактный с зараженными поверхностями и прямой контакт, корь передается преимущественно через капельно-аэрозольный путь в условиях, особенно когда инфицированный человек кашляет, чихает или разговаривает, выделяя мельчайшие капли, содержащие вирус

кори в условиях, близких контактов друг с другом в детских коллективах, школах или игровых площадках.

Вирулентность вируса кори, относительно некоторых другими детских вирусных инфекций обусловлена такими факторами как:

- высокая заразность, обеспечивающая легкость передачи через капли воздуха;
- серьезность осложнений, таких как пневмония, воспаление мозга, уха, судороги и другие осложнения, которые могут даже привести к смерти;
- широкий спектр симптомов, включая характерную сыпь, высокую температуру, кашель, насморк, конъюнктивит и другие проявления.

Сравнивая вирулентность кори с другими детскими вирусными заболеваниями, можно отметить, что корь имеет высокий потенциал вызывать тяжелые формы болезни и осложнения по сравнению с другими детскими инфекциями. Однако степень вирулентности также зависит от индивидуальных особенностей организма и наличия иммунитета у человека. Важно помнить, что вакцинация остается эффективным способом защиты от кори и снижения риска развития тяжелых форм заболевания.

Ранняя диагностика кори у детей играет важную роль для предотвращения распространения инфекции [3,5] и своевременного начала лечения. Корь вызывается вирусом и проявляется симптомами, похожими на простуду или грипп [3, 4] и включают:

- высокую температуру: один из первых признаков кори — повышение температуры тела до высоких значений (обычно выше 38,5°C);

- насморк: начальная стадия кори может сопровождаться насморком, заложенностью носа и чиханием;
- кашель: сухой или с небольшим количеством мокроты, может быть первым симптомом кори;
- конъюнктивит: воспаление слизистой оболочки глаз проявляется покраснением, слезотечением, зудом или дискомфортом;
- светочувствительность: глаза могут быть чувствительны к яркому свету.

Однако характерными признаками кори являются сыпь, начинающаяся на лице и распространяющаяся по телу, является одним из ключевых признаков данной вирусной инфекции, а также Копликовы пятна — мелкие белые или синюшные пятна внутри щеки.

Наряду с этим существуют и информативные лабораторные методы диагностики [6]:

1. Лабораторные тесты: Анализ крови для обнаружения антител к вирусу кори может подтвердить диагноз. Уровень иммуноглобулинов М (IgM) может быть повышен в ранней стадии заболевания, свидетельствуя о наличии активного вируса [7].
2. ПЦР-тестирование: Полимеразная цепная реакция (ПЦР) позволяет обнаружить генетический материал вируса кори в образце биоматериала (обычно в мазке из носоглотки или крови). Этот тест может быть полезен для подтверждения диагноза.

С целью изучения изменений показателей касеамо (IgM), СРБ, и таких показателей как АлТ и АсТ, нами были проанализированы лабораторные показатели детей в возрасте от 5–10 лет в количестве 9 человек.

Анализ полученных данных свидетельствовал о достоверном повышении изучаемых показателей, причем отмечалось более выраженное повышение уровня (IgM) и АсТ, что и подтверждало факт появления первого антитела, проявляющимся в ответ на инфекцию [2,7].

В случае кори уровень IgM может начать повышаться через несколько дней после появления симптомов и оставаться высоким в течение некоторого времени.

Однако уровень IgM может варьироваться у разных пациентов, и этот показатель не всегда является определяющим для диагностики кори. Уровень иммуноглобулина М (IgM) у детей может также варьировать в зависимости от возраста и методов лабораторного анализа. По данным лабораторных показателей, примерные нормативные значения IgM у детей составляют:

- у новорожденных: около 13–40 миллиграммов на децилитр (мг/дл.).
- у детей старше года: около 40–230 миллиграммов на децилитр (мг/дл.) или 0,4–2,3 грамма на литр (г/л).

Стоит отметить, что вышеуказанные значения могут немного различаться в разных лабораториях из-за использования разных методик анализа. Нормы уровня IgM у детей обычно определяются на основе возраста и специфики каждого конкретного клинического случая.

Для более точной диагностики обычно используют комплексный подход, включая клинические симптомы, историю болезни, возможные контакты с инфицированными людьми и другие лабораторные методы, такие как ПЦР-тестирование или дополнительные иммунологические анализы.

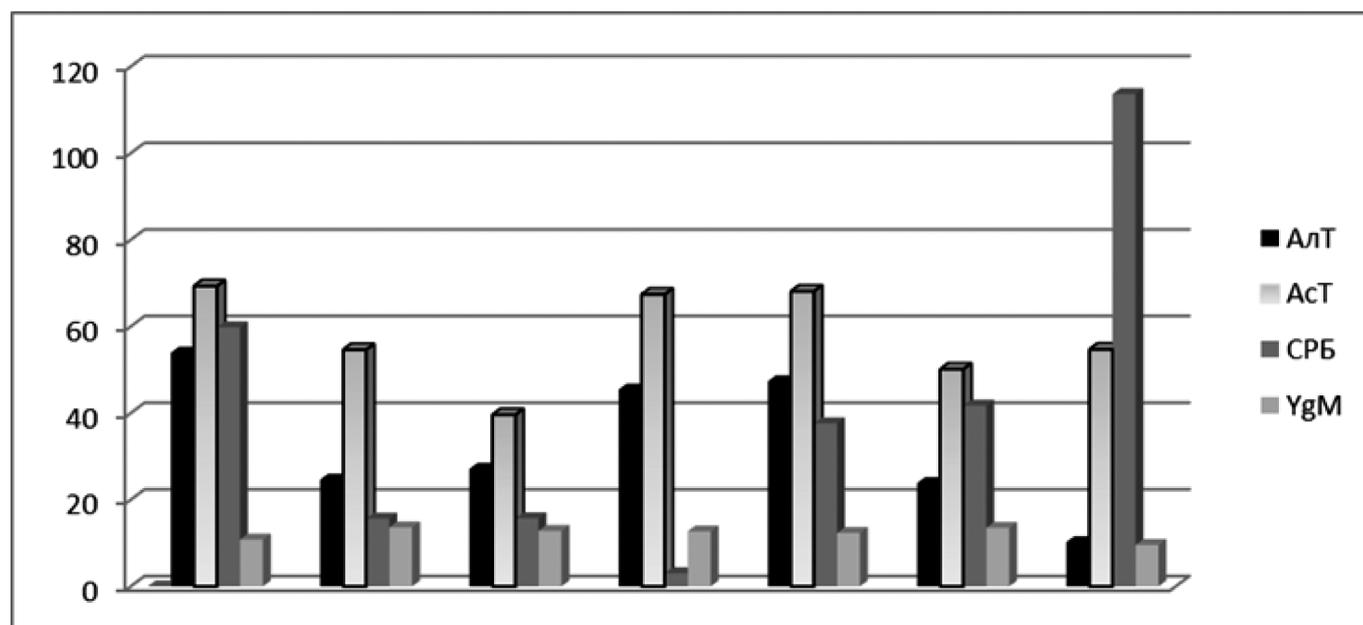


Рис. 1. Показатели на 7–8-е сутки от начала заболевания

Выводы

Таким образом, исходя из полученных данных и анализа литературных данных, необходимо сказать, что с целью ранней диагностики кори у детей, необходим комплексный подход, включающий в себя сбор данных анамнеза заболевания, возможный контакт с инфициро-

ванными больными, а также лабораторных показателей, включающих в первую очередь определение титра анти-тел (Ig M) к вирусу кори.

Кроме того, применяется современный метод — ПЦР-тестирование, который позволяет обнаружить генетический материал вируса кори в образце биоматериала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воздушно-капельные инфекции. Стандарты медицинской помощи: справочное издание / сост. А.С. Дементьев [и др.]. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. — 448 с.
2. Мамаева Т.А., Наумова М.А., Железнова Н.В., Липская Г.Ю. Оценка коммерческих тест-систем ИФА разного формата для определения уровня специфических IgM и IgG в сыворотках больных корью. // Вопросы вирусологии. 2013;58(5):43–48.
3. Особенности диагностики и профилактики кори на современном этапе / Я.М. Еремушкина, Т.К. Кускова, Е.Т. Вдовина [и др.] // Лечащий Врач. — 2019. — №11. — С. 32–35.
4. Руженцова Т.А. Критерии дифференциальной диагностики кори на догоспитальном этапе / Т.А. Руженцова, Д.А. Хавкина, П.В. Чухляев // Лечащий Врач. — 2017. — №11. — С. 40–42
5. Семенов Т.А., Сметанина С.В., Колобухина Л.В., Кареткина Г.Н., Ноздрачева А.В., Кружкова И.С. и соавт. Корь: эпидемиологические особенности в период элиминации, современные возможности профилактики, диагностики и лечения. Значение серологического исследования популяционного иммунитета населения. Методические рекомендации №74. М.: 2020. 38 с.
6. The World Health Organization. Manual for the laboratory diagnosis of measles and rubella virus infection. 2nd ed. No. WHO/IVB/07.01.; 2007.109 p.
7. Helfand R.F. et al. Diagnosis of measles with an IgM capture EIA: the optimal timing of specimen collection after rash onset. Journal of Infectious Diseases, 1997, 175(1): p. 195-9

© Кисиева Залина Ахсарбековна (zalinakisiewa@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ АЛЛОПЛАСТИКИ ПЕРЕДНЕЙ БРЮШНОЙ СТЕНКИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

COMPARISON OF METHODS OF ANTERIOR ABDOMINAL WALL ALLOPLASTY IN THE EXPERIMENT

M. Polidanov
L. Vysotsky
D. Gavrikov
S. Kapralov
M. Barulina
K. Volkov

Summary. Due to the small number of scientific studies on alloplasty techniques for postoperative anterior abdominal wall hernias, there is still an urgent need to search for new techniques of anterior abdominal wall alloplasty, as well as the development and implementation of surgical mesh implants. *The purpose of the study.* Comparison of anterior abdominal wall alloplasty techniques in an acute experiment. *Materials and methods of research.* 36 laboratory rats of Standard breed, weighing 400 ± 50 g, were used as biological models in the experiment. In the conditions of acute experiment, the laboratory animals under general anesthesia in aseptic conditions underwent alloplasty with a mesh implant (Esfil, RF) according to the sublay technology. Two observation groups were formed (18 operated rats in each group) depending on the performed method of alloplasty. In the 1st group alloplasty with fixation of the implant with through U-shaped sutures was performed, whereas in Group 2 the implant was not fixed. On the 21st day, material was collected for biomechanical and morphologic studies. *Results.* It was found that the difference in biomechanical indices after modeling prosthetic alloplasty with two different techniques (with and without fixation) was not statistically significant in elastic-plastic deformations. *Conclusion.* During biomechanical and morphological studies, it was proved that the strength of the abdominal wall in modeling posterior separation alloplasty does not depend on the method of fixation of the implant to the abdominal muscles.

Keywords: ventral hernias; prosthetic alloplasty; biomechanical properties of mesh implants; biomechanical study of prosthetic alloplasty properties, morphological evaluation.

Полиданов Максим Андреевич

Специалист, ассистент кафедры,
Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Высоцкий Лев Ильич

Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского

Гавруков Дмитрий Сергеевич

Врач-хирург, заведующий хирургическим
отделением №4, Городская клиническая больница
имени С.С. Юдина, г. Москва

Капралов Сергей Владимирович

Доктор медицинских наук, доцент, заведующий
кафедрой, Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского

Барулина Марина Александровна

Доктор физико-математических наук, доцент,
профессор, Медицинский университет «Реавиз»,
г. Саратов;

Доктор физико-математических наук, директор,
Пермский государственный национальный
исследовательский университет;

заведующий лабораторией, Саратовский научный
центр РАН, Институт проблем точной механики
и управления РАН

Волков Кирилл Андреевич

Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского

Аннотация. В связи с малым количеством научных исследований о способах аллопластики при послеоперационных грыжах передней брюшной стенки по-прежнему существует острая необходимость поиска новых методик аллопластики передней брюшной стенки, а также разработки и внедрения хирургических сетчатых имплантов. *Цель исследования.* Сравнение методов аллопластики передней брюшной стенки в остром эксперименте. *Материалы и методы исследования.* В качестве биологических моделей в эксперименте использовались 36 лабораторных крыс, породы «Стандарт», массой 400 ± 50 г. В условиях острого эксперимента лабораторным животным под общей анестезией в асептических условиях выполнялась аллопластика сетчатым имплантом (Эсфил, РФ) по технологии sublay. Были сформированы 2 группы наблюдения (по 18 прооперированных крыс в каждой группе) в зависимости от выполненного способа аллопластики. В 1-й группе производили аллопластику с фиксацией импланта сквозными П-образными швами, тогда как во 2-й группе имплант не фиксировался. На 21-е сутки производился забор материала для биомеханического и морфологического исследований. *Результаты.* Было установлено, что разница биомеханических показателей после моделирования протезирующей аллопластики двумя разными методиками (с фиксацией и без фиксации) статистически не значима в области упруго-пластичных деформаций. *Заключение.* В ходе биомеханического и морфологического исследований было доказано, что прочность брюшной стенки при моделировании задней сепарационной аллопластики не зависит от способа фиксации импланта к брюшным мышцам.

Ключевые слова: вентральные грыжи, протезирующая аллопластика, биомеханические свойства сетчатых имплантов, биомеханическое исследование свойств протезирующей аллопластики, морфологическая оценка.

Введение

Вопросы хирургического лечения вентральных грыж до сих пор остаются в ряду самых важных проблем абдоминальной хирургии [1–3]. На современном этапе развития вентропластики сформирована четкая позиция о недостаточной надежности аутопластических методик при отсутствии дифференцированного подхода к их применению [4, 5]. Так, замещение грыжевого дефекта и неполноценных собственных тканей сеточными имплантами при несомненно снижает частоту рецидивов [6, 7].

В связи с чем является бесспорным, что в условиях продолжающихся научных дебатов о наилучших способах аллопластики послеоперационных грыж передней брюшной стенки необходимы и важны дальнейшие исследования, которые внесут дополнительный вклад в улучшение результатов лечения этих пациентов.

Цель исследования

Сравнение методов аллопластики передней брюшной стенки в остром эксперименте.

Материалы и методы

Исследование выполнено на базе кафедры факультетской хирургии и онкологии ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Минздрава России. Разрешение проведения эксперимента отражено локальным этическим комитетом (ЛЭК) Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского (протокол ЛЭК номер 2 от 18.09.2023). Уход за животными и проведение экспериментов осуществлялись согласно основным морально-этическим принципам проведения биомедицинских экспериментов на животных, сформулированных в следующих документах: «Правила лабораторной практики в РФ», утвержденные приказом Министерства здравоохранения и социального развития от 23.08.2010 №708н, и «Международные рекомендации по проведению биомедицинских исследований с использованием животных», принятые Международным советом медицинских научных обществ (CIOMS) в 1985 г. В качестве биологических моделей в эксперименте использовались 36 лабораторных животных — крыс, породы «Стандарт», массой 400 ± 50 г. В условиях экспериментальной операционной животным под общей анестезией в асептических условиях выполнялась аллопластика сетчатым имплантом (Эсфил, РФ) по технологии sublay. Для этого после рассечения передней стенки влагиалища прямых мышц живота формировали ретромускулярное ложе и размещали имплант размером 2×2 см, имитируя заднюю сепарационную аллопластику. Восстановлением белой линии живота укрывали имплант прямыми мыш-

цами и передними пластинками их влагиалищ. Формировали 2 группы наблюдения (по 18 оперированных крыс в каждой группе) в зависимости от способа аллопластики. В 1-й группе производили аллопластику с фиксацией импланта сквозными П-образными швами, проведенными через мышечный массив латеральнее спигелевой линии живота, во 2-й группе — без фиксации.

На 21-е сутки производился забор материала для биомеханического и морфологического исследований. Оценка биомеханических свойств путем производилась на разрывной машине «INSTRON-5944». С целью анализа данных испытаний брюшной стенки на растяжение строили графики зависимости напряжений и деформаций от времени. Анализировали напряжение (параметр, необходимый для сравнения напряженности структурных элементов ткани, полученный путем произведения относительной разрывной нагрузки на плотность ткани; Мпа), деформацию, с максимальным значением нагрузки (Н) и модуль Юнга (модуль упругости) (Па) в момент смены фаз биомеханического поведения и в момент максимальной деформации, предшествовавшей разрыву лоскута.

Морфологическому исследованию подвергались образцы тканей из фрагментов брюшной стенки, содержащих имплантаты. Срезы окрашивали гематоксилином и эозином и пикрофуксином по Ван-Гизону для оценки общей морфологической картины.

Статистическую обработку цифрового материала результатов исследования осуществляли с использованием пакета прикладных программ на языке программирования `scipy python`. Полученные цифровые данные были обработаны методами вариационного математического анализа.

Результаты

Количественные данные в исследуемых группах были представлены в виде среднего арифметического (M), и среднеквадратического отклонения (SD; σ). Коэффициент доверия определяли как предельную ошибку выборки ΔX_{cp} , вычисляемую по формуле $\Delta X_{cp} = t_{cp} \cdot \sigma$, т. е. предельная ошибка выборки равна t-кратному числу средних ошибок выборки [8–10]. Различия интерпретировались как достоверные при вероятности ошибки менее 5 % ($p < 0,05$), т. е. если $p > 0,05$, нулевая гипотеза — не отвергалась.

В результате сравнения показателей биомеханических свойств брюшной стенки в 1-ой группе (при фиксации сеточного импланта) были получены следующие усредненные значения нагрузки (Н), напряжения (Мпа), и модуля Юнга (Па): (Н): $6,20 \pm 4,61$ ($\sigma = 3,26$), (Мпа): $0,06 \pm 0,13$ ($\sigma = 0,11$), и модуль Юнга (Па): $0,38 \pm 0,13$

($\sigma = 0,10$); во 2-ой группе (без фиксации сеточного импланта): (H): $8,96 \pm 4,02$ ($\sigma = 3,15$), (Мпа): $0,08 \pm 0,12$ ($\sigma = 0,10$), и модуль Юнга (Па): $0,23 \pm 0,11$ ($\sigma = 0,09$), что будет показано на рис. 1–4.

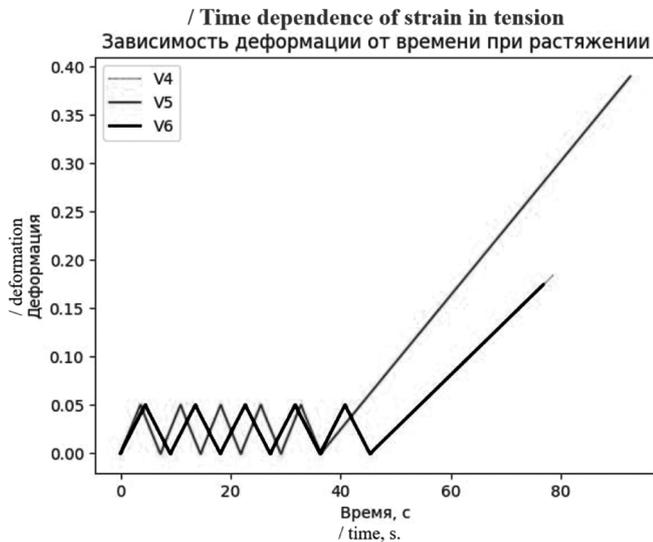


Рис. 1. График зависимости деформации от времени при растяжении трех наилучших образцов 1-й группы (с фиксацией сеточного импланта)

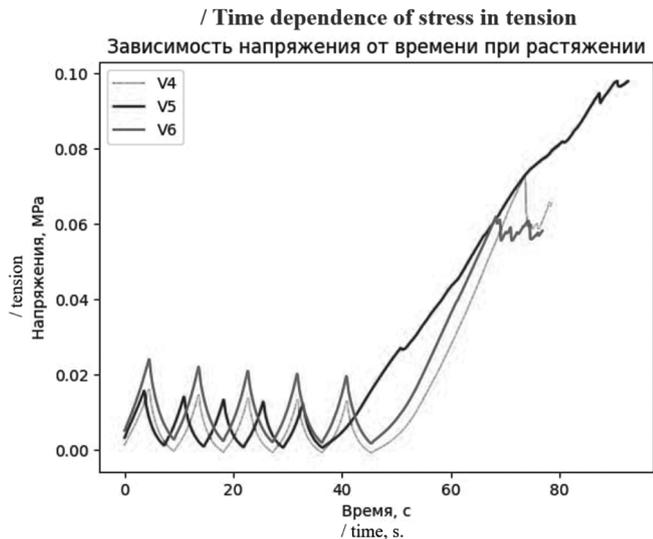


Рис. 2. График зависимости напряжения от времени при растяжении трех наилучших образцов 1-й группы (с фиксацией сеточного импланта)

Исходя из данных, представленных на рис. 1–4, следует уточнить, что до 35 секунд исследуемый материал вел себя как упругопластический, а после — уже были выявлены неупругие процессы разрушения. В связи с чем, сравнению подлежали характеристики до 35 секунд. Представляем сравнение деформаций при растяжении различных образцов:

1 и 2 образцы: Statistics 0.283, p-value (p-уровень значимости) $5.946e-01$. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

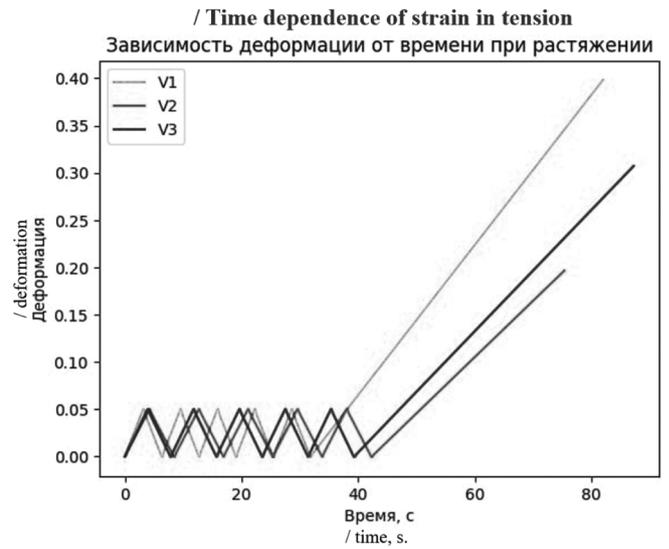


Рис. 3. График зависимости деформации от времени при растяжении трех наилучших образцов 2-й группы (без фиксации сеточного импланта)

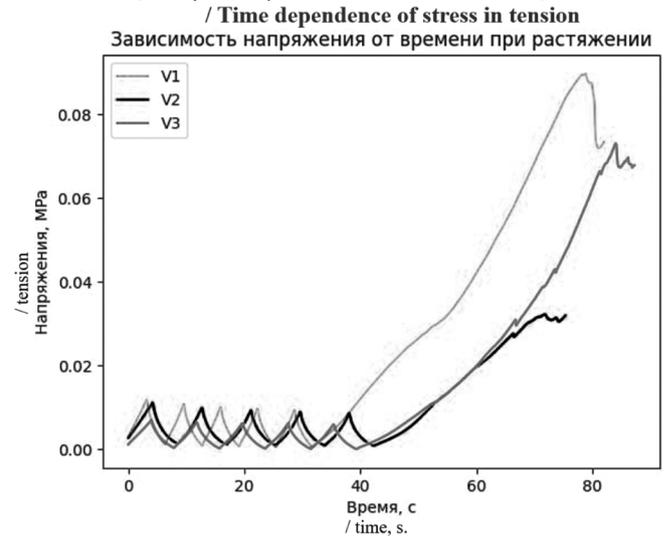


Рис. 4. График зависимости напряжения от времени при растяжении трех наилучших образцов 2-й группы (без фиксации сеточного импланта)

1 и 3 образцы: Statistics 1.254, p-value (p-уровень значимости) $2.628e-01$. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

1 и 4 образцы: Statistics 2.825, p-value (p-уровень значимости) $9.280e-02$. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

1 и 5 образцы: Statistics 3.037, p-value (p-уровень значимости) $8.138e-02$. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

1 и 6 образцы: Statistics 2.825, p-value (p-уровень значимости) $9.283e-02$. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

2 и 3 образцы: Statistics 0.302, p-value (p-уровень значимости) 5.826e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

2 и 4 образцы: Statistics 1.227, p-value (p-уровень значимости) 2.679e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

2 и 5 образцы: Statistics 1.378, p-value (p-уровень значимости) 2.404e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

2 и 6 образцы: Statistics 1.233, p-value (p-уровень значимости) 2.669e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

3 и 4 образцы: Statistics 0.314, p-value (p-уровень значимости) 5.752e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

3 и 5 образцы: Statistics 0.415, p-value (p-уровень значимости) 5.194e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

3 и 6 образцы: Statistics 0.303, p-value (p-уровень значимости) 5.822e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

4 и 5 образцы: Statistics 0.008, p-value (p-уровень значимости) 9.278e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

4 и 6 образцы: Statistics 0.012, p-value (p-уровень значимости) 9.113e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается);

5 и 6 образцы: Statistics 0.015, p-value (p-уровень значимости) 9.034e-01. Различий нет (Нулевая гипотеза принимается).

При морфологическом исследовании среди соединительной ткани, были выявлены кистозные полостные образования, ограниченные хорошей соединительнотканной капсулой, что, по данным биомеханического исследования и обеспечило наибольшую прочность и стабильность (рис. 5). Такое соотношение компонентов свидетельствует также о наличии у гладкой мезотелиальной поверхности антиадгезивных свойств, способствующих сохранению функциональной подвижности мышц живота.

Обсуждение результатов

Таким образом, в ходе проведения хирургического эксперимента была подтверждена способность к формированию полноценной соединительной ткани в области дефекта. При выборе оптимальной хирургической методики пластики брюшной стенки, несомненно, следует придерживаться дифференцированного подхода к лечению, учитывающего ширину грыжевых ворот, носительный объем грыжи и показатели внутрибрюшного давления.

Однако изучение методов установки сеточного импланта с фиксацией или без его фиксации при аллопластике передней брюшной становится все более открытым и актуальным.

При сравнении биомеханических свойств прочности протезированной брюшной стенки после фиксации импланта к мышцам и без нее было продемонстрировано, что механическая прочность брюшной стенки при моделировании задней сепарационной аллопластики по истечении 3-х недель после операции не зависит от способа фиксации импланта к мышцам. Более того, было установлено, что только до 35 секунд исследуемый материал ведет себя как упругоэластический, а после — уже наблюдаются неупругие процессы разрушения.

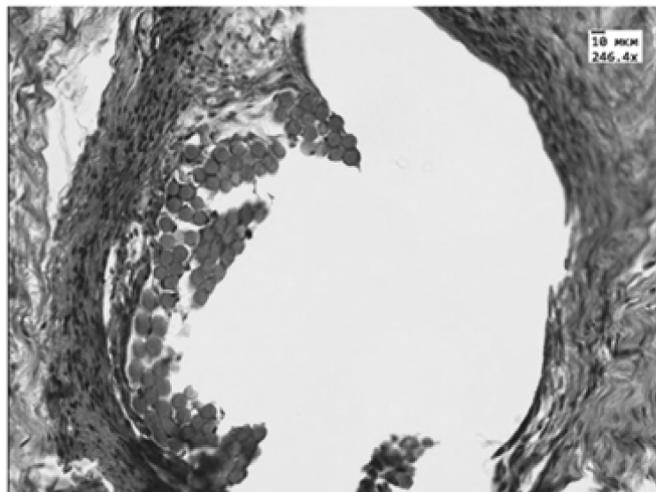
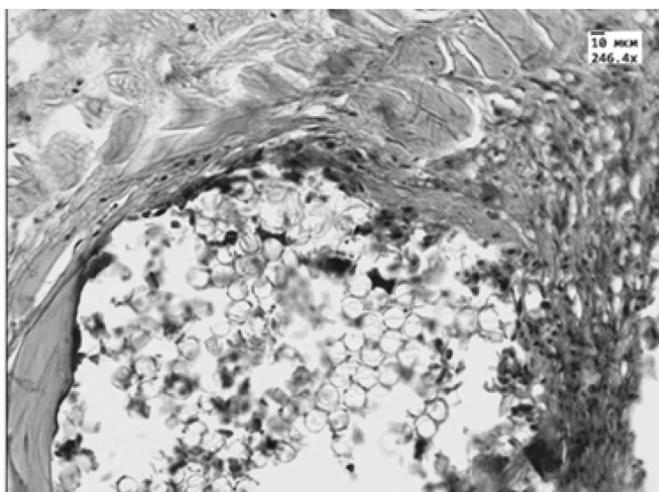


Рис. 5. Морфологическая картина образцов тканей из фрагментов брюшной стенки, содержащих имплантаты (1-й и 2-й группы, соответственно)

Примечание. 1) Срезы окрашены гематоксилином и эозином и пикрофуксином по Ван-Гизону; 2) Увеличение 200.

Заключение

Ввиду внедрения разнообразных методов вентропластики передней брюшной стенки, а также отсутствия патогенетического обоснования показаний к каждому из них нами выполнена работа по изучению зависимости биомеханических и морфологических свойств протезирующей вентропластики от методики подшивания сетчатого импланта. В остром эксперименте нами было

доказано, что механическая прочность протезированной брюшной стенки в срок по истечении 3-х недель после операции не ухудшается при отказе от фиксации импланта к мышцам [8-10]. Однако, в связи с малой экспериментальной выборкой для дальнейшей верификации результатов необходимо увеличить количество наблюдений и продолжить экспериментальное исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belyansky I., Daes J., Radu V.G., Balasubramanian R., Reza Zahiri H., Weltz A.S., Sibia U.S., Park A., Novitsky Y. A novel approach using the enhanced view totally extraperitoneal (eTEP) technique for laparoscopic retromuscular hernia repair. *Surg Endosc*, 2018. Vol. 32. № 3. pp. 1525–1532.
2. Ермолов А.С., Благовестнов Д.А., Алексеев А.К., Упырев А.В., Ярцев П.А., Шляховский И.А., Корошвили В.Т., Бурбу А.В. Хирургическое лечение пациентов с большими и гигантскими послеоперационными вентральными грыжами. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*, 2019. № 9. С. 38–43.
3. Ермолов А.С. Выбор хирургической тактики в зависимости от величины вентральной грыжи и дефицита тканей брюшной стенки. *Московский хирургический журнал*, 2018. Т. 3. № 61. С. 78.
4. Rodríguez M., Gómez-Gil V., Pérez-Köhler B. et al. Polymer Hernia Repair Materials: Adapting to Patient Needs and Surgical Techniques. *Journal Materials (Basel)*, 2021. Vol. 14. № 11. pp. 27–90.
5. Sheen A.J., Pilkington J.J., Baltatzis M., Tyurkylmaz A., Stathakis P., Jamdar S., Siriwardena A.K. Comparison of Mesh Fixation Techniques in Elective Laparoscopic Repair of Incisional Hernia—ReliaTack™ v ProTack™ (TACKoMesh) — A double-blind randomised controlled trial. *BMC Surg*, 2018. Vol. 18. № 1. P. 46.
6. Kroese L.F. et al. Primary and incisional ventral hernias are different in terms of patient characteristics and postoperative complications — a prospective cohort study of 4,565 patients. *Int J Surg*, 2018. № 51. pp. 114–119.
7. Etemad S.A., Huang L.C., Phillips S., Stewart T.G., Pierce R.A., Schneeberger S.J., Poulouse B.K. Advantages of a Fixation-Free Technique for Open Retromuscular Ventral Hernia Repair. *Plast Reconstr Surg*, 2020. Vol. 146. № 4. pp. 883–890.
8. Капралов С.В., Алипов В.В., Полиданов М.А., Кондрашкин И.Е., Блохин И.С., Расулов И.Ш., Тирбулатов Т.А. Совершенствование методики протезирующей аллопластики передней брюшной стенки. *Байкальский медицинский журнал*, 2023. Т. 2. № 1. С. 18–24.
9. Капралов С.В., Полиданов М.А., Масляков В.В., Волков К.А., Высоцкий Л.И., Медунов А.С., Марченко В.С., Абдулкадиров И.Р., Гамзатгаджиев Г.Ш. Экспериментальное обоснование выбора методики установки сетчатого имплантата при вентропластике передней брюшной стенки. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия*, 2023. Т. 7. № 4. С. 33–39.
10. Капралов С.В., Алипов В.В., Полиданов М.А., Мусаелян А.Г., Волков К.А., Высоцкий Л.И. Математические и алгоритмические методы сравнительной оценки результатов протезирующей аллопластики в эксперименте. *Медицинская наука и образование Урала*. 2023. Т. 24. № 4 (116). С. 113–116.

© Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Высоцкий Лев Ильич; Гавруков Дмитрий Сергеевич; Капралов Сергей Владимирович; Барулина Марина Александровна; Волков Кирилл Андреевич
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ДИНАМИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ ЗА СОСТОЯНИЕМ ВЛАГАЛИЩНОГО И КИШЕЧНОГО МИКРОБИОМА У ЖЕНЩИН С НЕРАЗВИВАЮЩЕЙСЯ БЕРЕМЕННОСТЬЮ В АНАМНЕЗЕ

DYNAMIC MONITORING OF THE STATE OF THE VAGINAL AND INTESTINAL MICROBIOME IN WOMEN WITH A HISTORY OF UNDEVELOPED PREGNANCY

**N. Ruhlyada
S. Vinnikova**

Summary. Undeveloped pregnancy occurs in 10.0–20.0 %, and in 55.6 % of pregnancies later, the cause is urogenital infectious diseases. The aim of our study was to evaluate the recurrence rate of vaginal and colon dysbiosis in women with a history of undeveloped pregnancy after the use of pro-, meta-, and probiotic drugs. For 12 months, the state of the vaginal and intestinal microbiome was monitored in women with a history of undeveloped pregnancy after therapy. Combination therapy (combined antimicrobial drug + combined biotic drugs) contributes to the complete elimination of dysbiosis in the studied environments. Repeated cases of dysbiotic disorders of the vaginal and intestinal microbiome were detected in 12.0 % of patients with combined use of antibacterial and biotic drugs. At the same time, no recurrence of dysbiotic disorders in the studied media was detected in 68.0 %.

Keywords: undeveloped pregnancy, microbiome, vagina, colon, dysbiosis.

Рухляда Николай Николаевич

Доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России
nickolasr@mail.ru

Винникова Симона Викторовна

научный сотрудник, ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт» скорой помощи им. И.И. Джанелидзе
simona.vinnikova@yandex.ru

Аннотация. Неразвивающаяся беременность встречается в 10,0–20,0 %, и в 55,6 % беременностей на более поздних сроках причиной является урогенитальные инфекционные заболевания. Целью исследования нашей работы было оценить частоту рецидивов дисбиозов влагалища и толстой кишки у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе после применения про-, мета— и пребиотических препаратов. В течение 12 месяцев проводилось наблюдение за состоянием влагалищного и кишечного микробиома у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе после проведенной терапии. Комбинированная терапия (комбинированный антимикробный препарат + комбинированные биотические препараты) способствует к полной ликвидации дисбиозов в исследуемых средах. Повторные случаи дисбиотических нарушений вагинального и кишечного микробиома выявляли у 12,0 % пациенток с комбинированным применением антибактериальных и биотических препаратов. При этом рецидивов дисбиотических нарушений в исследуемых средах не было выявлено у 68,0 %.

Ключевые слова: неразвивающаяся беременность, микробиом, влагалище, толстая кишка, дисбиоз.

Введение

Неразвивающаяся беременность (НБ) является главной причиной репродуктивных потерь и ее удельный вес составляет 10–20 % [1]. Дисбиотические нарушения со стороны влагалища у женщин с неразвивающейся беременностью выявлено в 63,3–75,0 % случаев [4], а в 50,0–71,0 % диагностируют и дисбактериоз кишечника [2,3]. Эффективность лечения подобных нарушений в значительной мере зависит не только от устранения нарушений микробиологического статуса со стороны влагалища, но и от его коррекции со стороны кишечника.

Цель исследования — оценить частоту рецидивов дисбиозов влагалища и толстой кишки у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе после применения про-, мета— и пребиотических препаратов.

Материалы и методы

Выполнялось динамическое наблюдение в течение 12 месяцев за состоянием влагалищного и кишечного микробиома у женщин ($n = 100$) с неразвивающейся беременностью в анамнезе после проведенной терапии про-, мета— и пребиотическими препаратами (средний возраст $32,6 \pm 6,1$ лет). Исследование проводилось на базе ГБУ СПб НИИ СП им. И. И. Джанелидзе.

Микробиом влагалища оценивали с помощью ПЦР — РВ «Фемофлор-16», кишечника «Колонофлор-16» в лаборатории «Explan».

Группа исследования была разделена на две группы: в первой группе состояли 50 женщин, которые использовали в качестве терапии только комбинированный антимикробный препарат (КАП), а во вторую группу вошли 50 женщин, которые применяли биотические препараты и КАП.

Вторая группа была дополнительно подразделена на две подгруппы: подгруппа IIa (n=25) использовала КАП и комбинированные биотические препараты (КБП) с учетом состояния микробиома влагалища и толстой кишки, в подгруппе IIb (n=25) только монобиотический препарат (МБП) и КАП.

Результаты

До начала терапии дисбиозы влагалища были выявлены в первой группе у 74,0 %, а во второй — 76,0 %. Дисбактериозы толстой кишки обнаружены 52,0 % и 54,0 %, соответственно.

После проведенной терапии в группе, где применяли только КАП дисбиозы влагалища сохранялись у 66,0 % в отличие от подгрупп с дополнительным назначением биотических препаратов, где у женщин с комбинированным применением КАП+КБП дисбиотические нарушения со стороны влагалища не обнаружены, а у подгруппы с КАП+МБП выявлены у 20,0 % (p < 0,05).

Дисбиотические нарушения со стороны толстой кишки сохранялись в группе КАП у 54,0 % и МБП у 52,0 %, когда в подгруппе КАП + КБП отсутствовали вовсе (p < 0,05), что более наглядно представлено в рисунке 1.

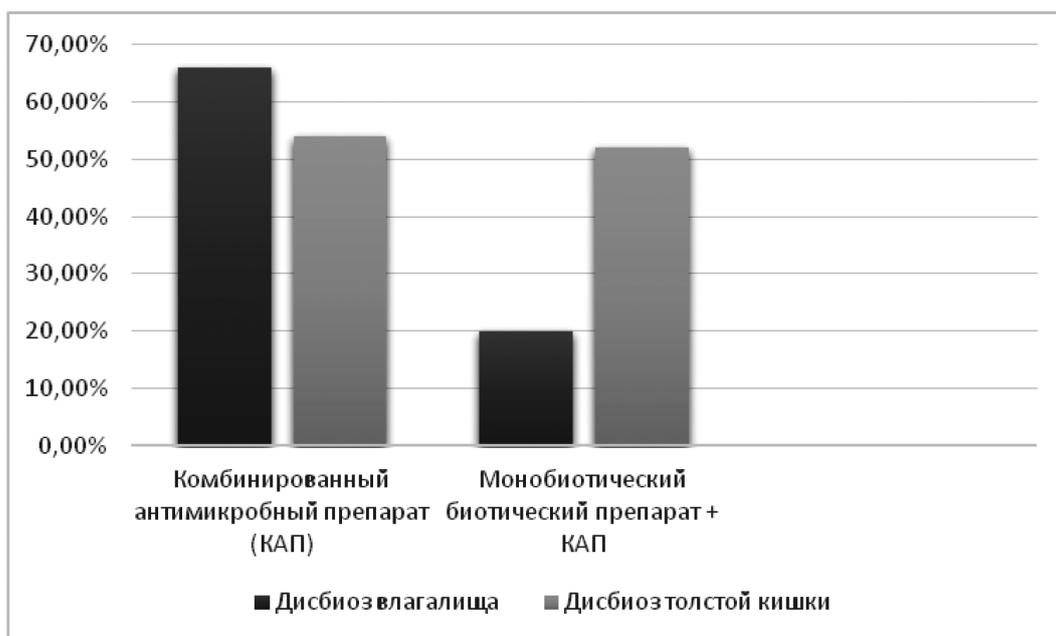


Рис. 1. Результаты проведенного лечения у женщин с неразвивающейся беременностью

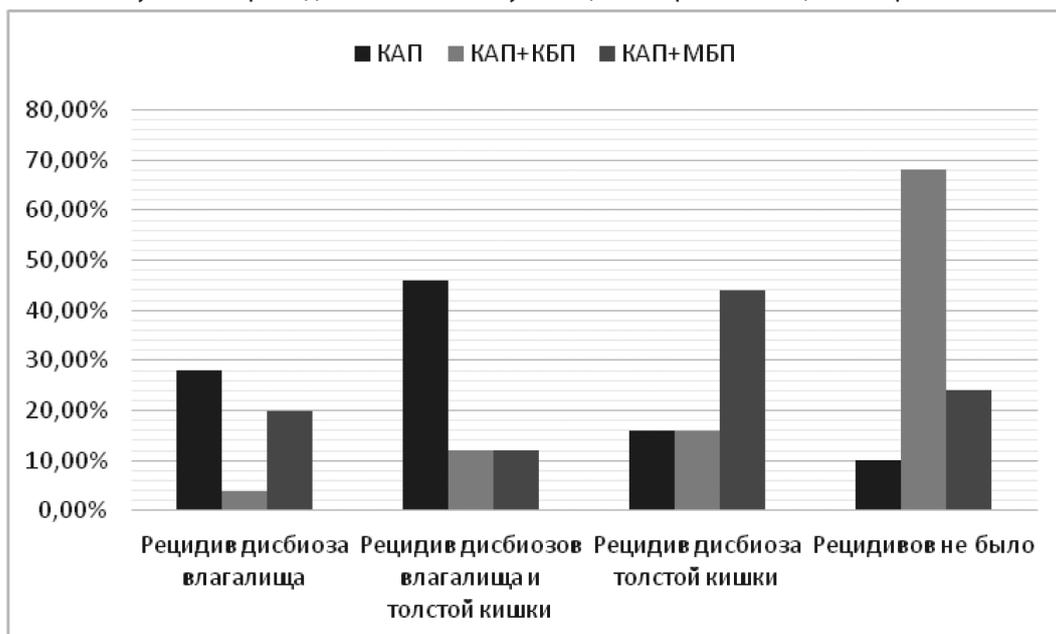


Рис. 2. Динамическое наблюдение за состоянием микробиома влагалища и толстой кишки в течение 12 месяцев после проведенной терапии у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе

В дальнейшем проводилось динамическое наблюдение в течение 12 месяцев за состоянием влагалищного и кишечного микробиома у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе после терапии.

Повторные случаи дисбиотических нарушений вагинального и кишечного микробиома статистически чаще наблюдались в группе КАП у 46,0 %, в сравнении с группой комбинированного применения КАП + КБП (12,0 %), но дисбактериоз только влагалища обнаружен у 28,0 % и 4,0 %. В группе комбинированной терапии (КАП+КБП)

в течение 12 месяцев рецидивов дисбиозов не выявлены у 68,0 % ($p < 0,05$), что можно наблюдать на рисунке 2.

Достоверных отличий в возникновении рецидивов дисбактериоза влагалища в исследуемых группах нет, что проиллюстрировано в рисунке 3.

В группе, где применяли комбинированные препараты (КАП + КБП), рецидив дисбиотических нарушений со стороны влагалища диагностировался у 4,0 % только через 9 месяцев. При этом в группе КАП+МБП повторные

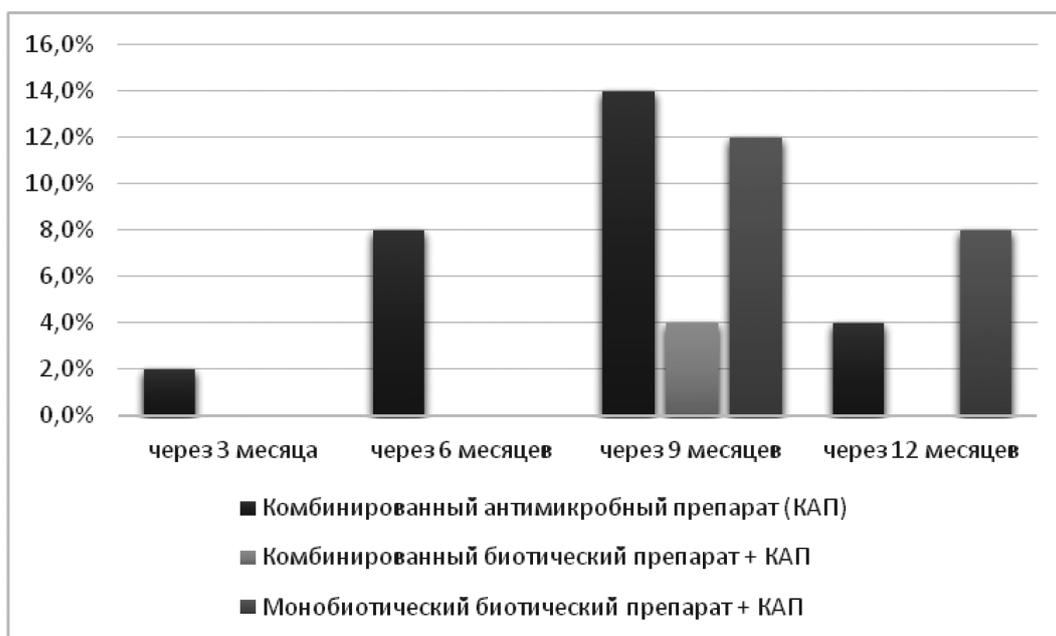


Рис. 3. Рецидивы дисбиоза влагалища после проведенной терапии у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе

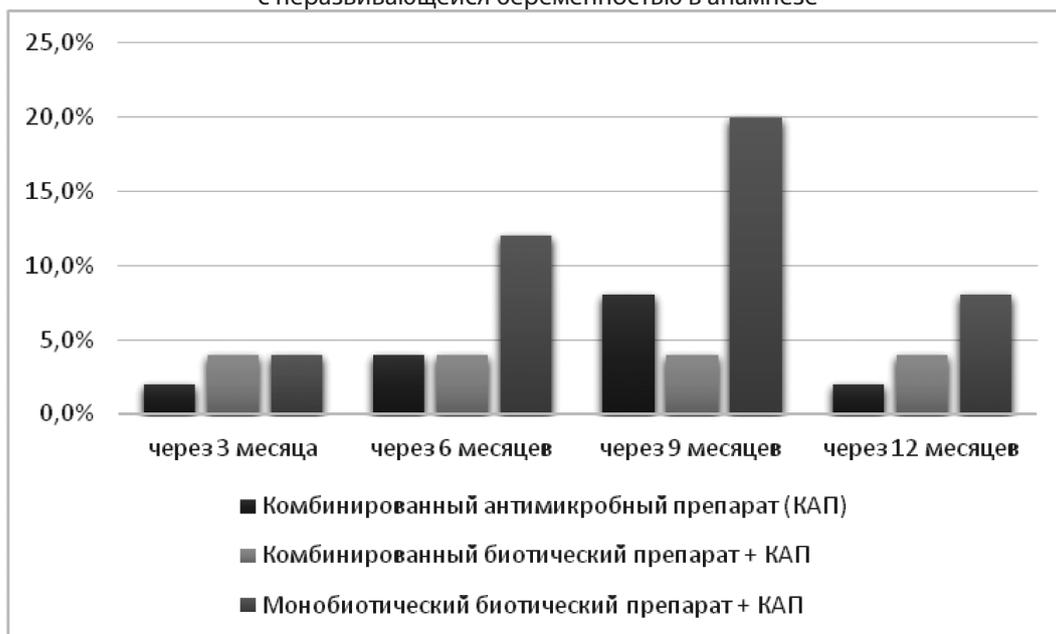


Рис. 4. Рецидивы дисбиоза толстой кишки после проведенной терапии у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе

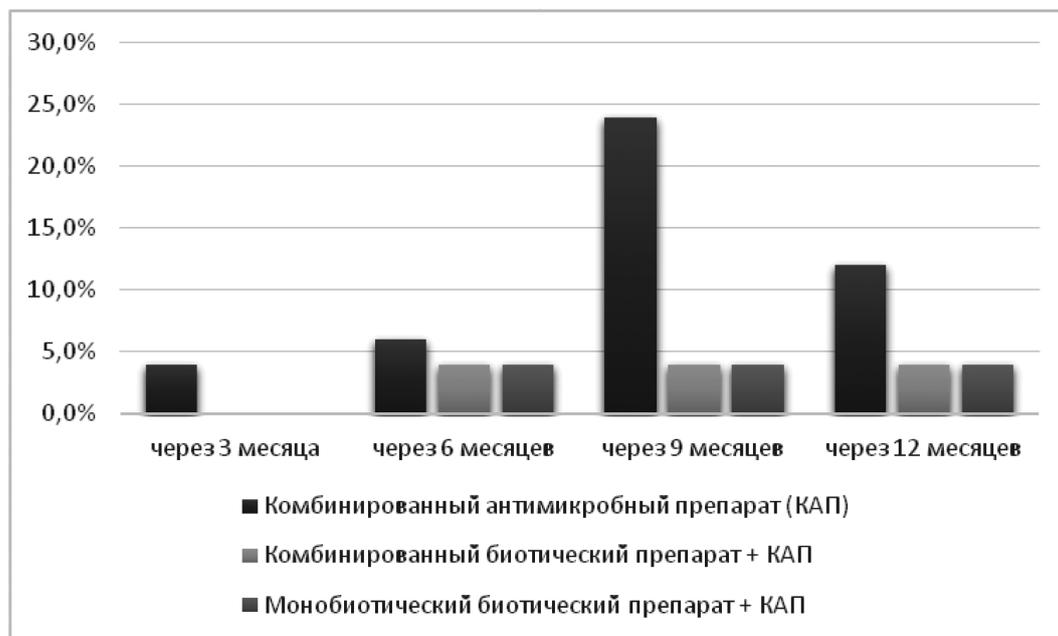


Рис. 5. Рецидивы дисбиозов влагалища и толстой кишки после проведенной терапии у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе

случаи выявляли через 9 месяцев — 12,0 % и 12 месяцев — 8,0 %.

В большинстве случаев часто обнаруживались рецидивы дисбактериоза кишечника в группе, где применяли комбинированные антимикробные и монобиотические препараты без учета микробиома толстой кишки, через 3 месяца диагностировали у 4,0 %, 6 месяцев — 12,0 %, 9 месяцев — 20,0 % и 12 месяцев — 8,0 %.

При комбинированном назначении (КАП+КБП) повторные случаи дисбактериозов толстой кишки выявлялись одинаково часто через 3,6,9 и 12 месяцев у 4,0 % (рисунок 4).

Повторные дисбактериозы толстой кишки и влагалища статистически чаще диагностировались в группе без коррекции микробиома данных сред через 9 месяцев

у 24,0 % пациенток, в отличие от группы, где применяли КАП + КБП (4,0%) $p < 0,05$ (рисунок 5).

Выводы

После применения комбинированной терапии, а именно комбинированного антимикробного препарата, про-, мета— и пребиотиков у женщин с неразвивающейся беременностью в анамнезе способствовало полному устранению дисбиотических нарушений влагалища и толстой кишки и выраженному снижению частоты рецидивов дисбиотических нарушений влагалища и толстой кишки с 90,0 % до 32,0 % ($p < 0,05$), в сравнении с изолированной антибактериальной терапией. В течение 9 месяцев после проведенного лечения рецидивы нарушения вагинального и кишечного микробиома диагностировались у 4,0 % и 24,0 % ($p < 0,05$), соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

- Агаркова И.А., Неразвивающаяся беременность: оценка факторов риска и прогнозирование/ Агаркова И.А.—Медицинский альманах № 4 (13) ноябрь 2010— с. 82–88.
- Жук С.И. Пероральные пробиотики — залог успешной беременности / С.И. Жук, И.В. Ус, А.А. Шляхтина // Здоровье женщины. — 2016. — № 10(116). — С. 56. — EDN XUVMQR.
- Рухляда Н.Н., Винникова С.В., Цечоева Л.Ш. Некоторые этико-медицинские аспекты предотвращения повторной гибели плодного яйца у женщин репродуктивного возраста. Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки, 2020, №11, С.188–194
- Zhang F. Alteration of vaginal microbiota in patients with unexplained recurrent miscarriage / F. Zhang, T. Zhang, Y. Ma, Z. Huang [et al.] // Experimental and therapeutic medicine. — 2019. — Vol. 17. — №. 5. — P. 3307–3316.

© Рухляда Николай Николаевич (nickolasr@mail.ru); Винникова Симона Викторовна (simona.vinnikova@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕПАРАТИВНОГО ОСТЕОГЕНЕЗА ПРИ АУГМЕНТАЦИИ КОСТНОПЛАСТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

MORPHOLOGICAL ASSESSMENT OF INDICATORS OF REPARATIVE OSTEOGENESIS IN BONE AUGMENTATION

**K. Samburova
M. Amkhadova
G. Setdikova**

Summary. This article presents the results of a morphological assessment of reparative osteogenesis indicators when using augmentation of bone graft material. The aim of the study was to investigate the influence of various bone graft materials on bone tissue regeneration processes. Laboratory animals, which were implanted with different types of bone graft materials, were used in the experiment. The morphological analysis included histological examination of bone tissue samples at various stages of the reparative process. The study results showed that the use of bone graft materials accelerates osteogenesis processes and improves the quality of newly formed bone tissue. It was found that different materials have varying degrees of biocompatibility and osteoinductivity, which affects the speed and quality of bone tissue regeneration. The most effective were materials containing biologically active components that stimulate cellular proliferation and differentiation of osteoblasts. The conducted study demonstrates the importance of selecting the optimal bone graft material for successful bone tissue augmentation. The obtained data can be used for the development of new biomaterials and the improvement of existing bone regeneration techniques. The article is of interest to specialists in the fields of traumatology, orthopedics, and dentistry, dealing with bone tissue restoration issues.

Keywords: stem cells, research, tasks, treatment methods, bone tissue.

Самбунова Кристина Михайловна

Врач стоматолог-хирург, аспирант, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»
samburova-cristina@yandex.ru

Амхадова Малкан Абдрашидовна

Доктор медицинских наук, профессор, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»
amkhadova@mail.ru

Сетдикова Галия Равиловна

Доктор медицинских наук, главный научный сотрудник, врач-патологоанатом, Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Московской области «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского»
galiya84@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлены результаты морфологической оценки показателей репаративного остеогенеза при применении аугментации костнопластического материала. Целью исследования было изучение влияния различных костнопластических материалов на процессы регенерации костной ткани. В эксперименте использовались лабораторные животные, которым были имплантированы различные виды костнопластических материалов. Морфологический анализ включал гистологическое исследование образцов костной ткани на различных стадиях репаративного процесса. Результаты исследования показали, что применение костнопластических материалов способствует ускорению процессов остеогенеза и улучшению качества вновь образованной костной ткани. Было установлено, что различные материалы обладают разной степенью биосовместимости и остеиндуктивности, что влияет на скорость и качество регенерации костной ткани. Наиболее эффективными оказались материалы, содержащие биологически активные компоненты, стимулирующие клеточную пролиферацию и дифференцировку остеобластов. Проведенное исследование демонстрирует важность выбора оптимального костнопластического материала для успешной аугментации костной ткани. Полученные данные могут быть использованы для разработки новых биоматериалов и улучшения существующих методик костной регенерации. Статья представляет интерес для специалистов в области травматологии, ортопедии и стоматологии, занимающихся проблемами восстановления костной ткани.

Ключевые слова: стволовые клетки, исследования, задачи, методы лечения, костная ткань.

Актуальность: в настоящее время, исследования репаративной регенерации костной ткани и возможности оптимизации восстановительного процесса являются актуальными задачами [9, с. 58]. На протяжении нескольких десятилетий активно ведется работа по разработке костнопластических материалов для проведения костной пластики [11].

Одним из ключевых моментов в истории исследований репаративного остеогенеза было открытие роли стволовых клеток в процессе заживления костей [14]. Стволовые клетки обладают способностью дифференцироваться в различные типы клеток, включая остеобласты, которые отвечают за образование новой костной ткани [10]. Исследования показали, что стволовые клетки играют ключевую роль в регенерации костной ткани и могут быть использованы для разработки новых методов лечения костных дефектов [12].

Костнопластический материал представляет собой специально обработанную ткань, содержащую клетки, факторы роста и другие биологически активные вещества, способные стимулировать регенерацию костной ткани [3]. Однако, несмотря на все достижения в области закрытия костных дефектов челюстей, остаются некоторые проблемы и ограничения. Например, некоторые методы могут вызывать осложнения, такие как инфекции или отторжение костнопластического материала. Также, не всегда возможно достичь полной регенерации костной ткани, особенно в случаях больших дефектов.

Морфологическая оценка репаративного остеогенеза при аугментации костнопластическим материалом — это процесс оценки структурных и функциональных изменений, происходящих в костной ткани в результате аугментации [3]. Она позволяет определить эффективность и безопасность использования различных костнопластических материалов, а также выявить факторы, влияющие на остеогенез [10, с. 77].

Цель исследования: изучить закономерность и особенности репаративного остеогенеза при использовании различных костнопластических материалов.

Материал и методы

В работе объектом исследования является новообразованная костная ткань после костнопластической операции, проведенной 5 месяцев назад. Предметом исследования является изучение структуры, формы и функции новообразованной костной ткани, с целью определения эффективности и результативности использования данного материала в процессе репаративного остеогенеза. Клинический случай был проведен в ГБУЗ МО МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского в отделении стоматологии сложных случаев. Использовался костно-

пластический материал «Остеоматрикс», «Биоматрикс», «Биоимплант ГАП» (Россия) для заполнения костного дефекта после удаления зуба и цистэктомии. Материал для морфологического исследования помещали в 10 % забуференный формалин. Далее погружали в декальцинирующий раствор, затем проводили по стандартной методике. Серийные парафиновые срезы толщиной 3 мкм депарафинировали по стандартной схеме, после окрашивали гематоксилином и эозином. Для определения процессов образования костной ткани использовали гистохимическую трихромную окраску по Массону. Исследование направлено на определение эффективности и безопасности данного метода лечения, а также на оценку результатов восстановления костной ткани и функциональности челюстей после применения костнопластического материала.

Клинический случай: пациентке 38 лет, после цистэктомии и удаления неodontкратно и безуспешно леченного зуба 3.6 (рис. 1) была выполнена костная пластика с использованием костнопластического материала «Остеоматрикс», «Биоимплант ГАП», «Биоматрикс» мембрана.



Рис. 1. Сакиттальная проекция, зуб 3.6 с радиолуцентным новообразованием

Костнопластический материал «Остеоматрикс» представляет собой биокомпозиционный материал, состоящий из 75 % костного минерала, 25 % коллагена и костных сульфатированных гликозаминогликанов (не менее 1,5 граммов на см³). Остеоматрикс полностью очищен от потенциально вредных органических компонентов кости.

Спустя 5 месяцев пациентке было проведено повторное КЛКТ исследование, на котором визуализируется новообразованная костная ткань в области отсутствующего зуба 3.6 (рис. 2).

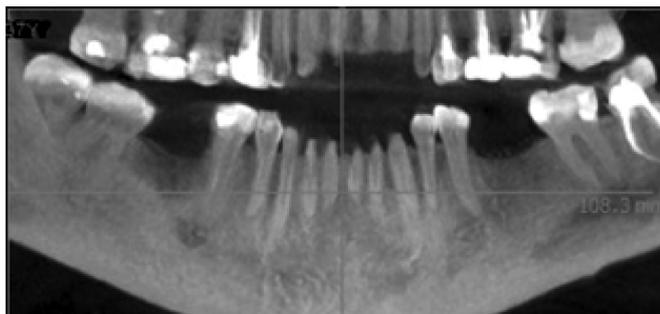


Рис. 2. Заполнение костного дефекта в области отсутствующего зуба 3.6 новообразованной костной тканью фронтальная проекция

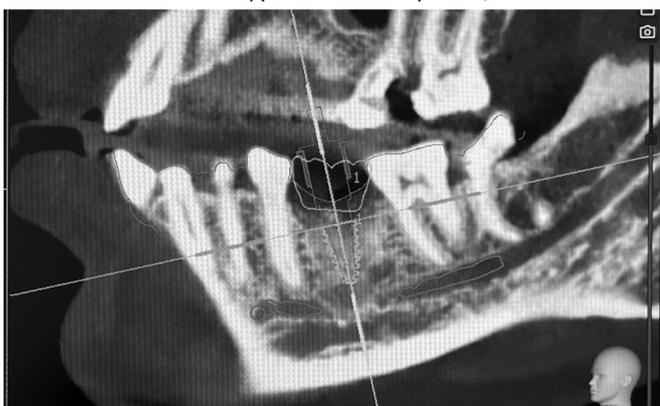


Рис. 3. Этап виртуального планирования дентального имплантата в области отсутствующего зуба 3.6 спроектированный программой ImplaStation

Перед установкой имплантата в области отсутствующего зуба 3.6 был проведен забор новообразованной костной ткани при помощи трепана для последующего гистологического исследования.

После детального клиничко-рентгенологического исследования пациентке была проведена операция дентальной имплантации с установкой имплантата «Osstem» диаметром 4.5x8.5, установленного с использованием хирургического шаблона (рис. 4, 5). Послеоперационный период протекал без осложнений.

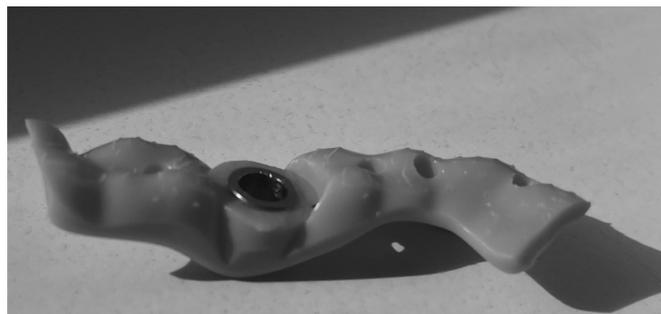


Рис. 4. Хирургический шаблон для установки дентального имплантата



Рис. 5. Дентальный имплантат в области зуба 3.6

При микроскопическом исследовании активное воспаление не обнаружено. Выявлено разрастание фиброзной ткани вокруг костных обломков, единичные лимфоидные элементы, немногочисленные сосуды (рис. 6 а-б). В данных костных обломках остеоциты и остеобласты не просматривались. Стромальный компонент представлен плотноупакованными коллагеновыми волокнами. Ядра мезенхимальных клеток имели округлую форму, хроматин располагался менее компактно, фигуры митоза не просматривались. При гистохимической окраске по Массону реакция была однородной (рис. 7 а-б). В участках остеогенеза обнаружены активные остеобласты и преостеобласты на поверхности костной балки. При ИГХ с CD56 выявлена положительная реакция в данных клетках. В сформированной костной пластинке просматривались многочисленные лакуны, в части с остеоцитами. При гистохимической реакции выявлено

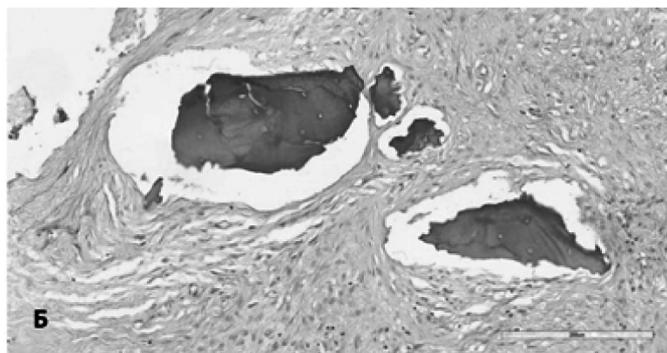
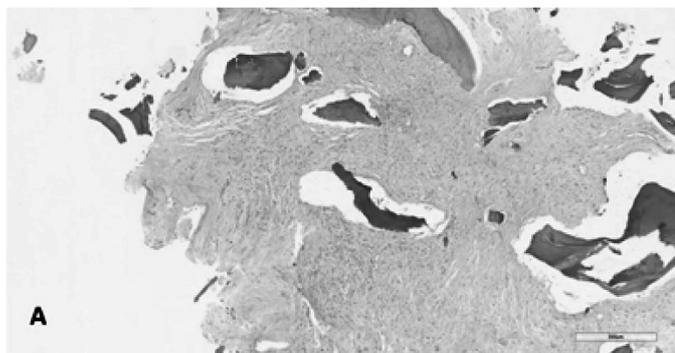


Рис. 6. Многочисленные обломки костной крошки. А — выраженный стромальный компонент без активного воспаления. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув. x100. Б -отсутствие остеобластов и остеоцитов в костной крошке. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув. x200

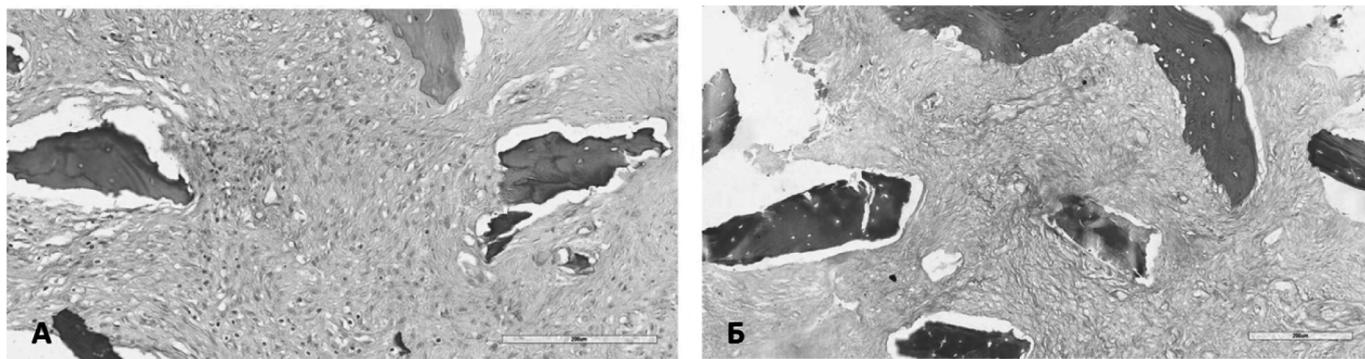


Рис. 7. Стромальный компонент. А — хорошо упорядоченный коллагеновый матрикс. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув. x200. Б. — Гомогенное окрашивание по Массону. Окр.: трихром Массон. Ув. x200

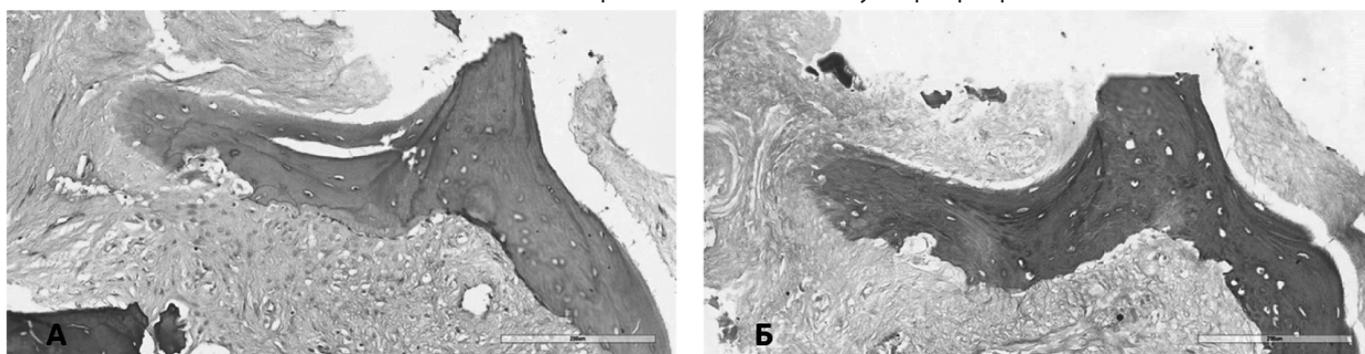


Рис. 8. Вновь образованная костная пластинка. А — На поверхности просматриваются активные остеобласты. Б — Гетерогенная гистохимическая реакция по Массону в зависимости от созревания костной ткани. Окр.: трихром Массон. Ув. x200

гетерогенное окрашивание по Массону вновь образованной кости в зависимости от созревания костной ткани. Так более зрелые участки обнаружены по периферии костной балки. (рис. 8 а-б).

Результаты и их обсуждение

Клиническое исследование показало, что техника применения материалов «Остеоматрикс», «Биоматрикс», «Биоимплант ГАП» способствует активации процессов регенерации костной ткани в области удаленных зубов.

На рентгенограммах было отмечено более интенсивное образование новой костной ткани в области дефекта после применения костнопластических материалов.

Морфологическое исследование позволило более детально изучить процессы регенерации костной ткани. Было выявлено более активное образование новых остеоидов, что указывает на эффективность костнопластических материалов в стимуляции регенерации костной ткани.

Применение костнопластических материалов для профилактики атрофии костной ткани челюстей после удаления зубов является широко распространенной практикой в стоматологии. Однако, несмотря на значительные прогрессы в разработке и использовании таких материалов, все еще существует потребность в улучшении их эффективности. Практическая реализация использования костнопластических материалов требует разработки оптимальной схемы их применения [18, с. 334].

Вывод

На основании клинико-рентгенологических и гистологических исследований, можно сделать вывод о вновь образованной костной ткани в области применения костнопластических материалов. В дальнейшем для более точной оценки эффективности применения костнопластических материалов необходимо провести дополнительные исследования с большим объемом выборки пациентов. Также, важно провести сравнительный анализ различных методов и материалов для проведения костнопластической процедуры, с учетом их биосовместимости, стоимости и доступности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Дмитрий Евгеньевич, Свистов Дмитрий Владимирович, Коровин Александр Евгеньевич, Румянцев Леонид Андреевич, Крамчинов Илья Константинович Перспективные методы замещения дефектов костей черепа // Российские биомедицинские исследования. 2018. №1.
2. Байриков И.М. Клинико-функциональное обоснование применения дентального внутрикостно-накостного имплантата в условиях дефицита костной ткани челюстей. — 2018.
3. Власова Т.И., Арсентьева Е.В., Худайберенова Г.Д., Полякова Д.И. Современный взгляд на использование костных заменителей и возможность усиления их остеогенности клеточными технологиями // Медицинский вестник Башкортостана. 2020. №2 (86).
4. Гасюк П., Краснокутский А., Воробец А. Использование ксеногенных тканей в реконструктивной хирургии органов полости рта // Stomatologiya. — 2019. — Т. 1. — №. 2 (75). — С. 78–81.
5. Гилев М.В. Аугментация костных внутрисуставных дефектов при хирургическом лечении пострадавших с импрессионными переломами костей конечностей: дис. — М, 2019.
6. Григорьян А.С., Фидаров А.Ф. Современное состояние и основные направления исследований, посвященных разработке остеопластических материалов // М.: Медиа сфера. — 2016. — Т. 5. — С. 69.
7. Дентальная имплантология: основы: учебно-методическое пособие / Р.Г. Хафизов, Д.А. Азизова, А.К. Житко, Р.К. Житко — Казань: Казанский федеральный университет, 2021. — 57 с.
8. Жданов А., Хасанов Ш. Оценка эффективности ксеногенного материала в месте проведения костнопластической процедуры на альвеолярном гребне челюсти в случае обнажения плотной политетрафторэтиленовой мембраны // Журнал стоматологии и криоофациальных исследований. — 2021. — Т. 2. — №. 1. — С. 71–79.
9. Живцов О.П., Алейник Д.Я., Орлинская Н.Ю., Митрофанов В.Н. Особенности регенерации костной ткани в условиях применения клеточно-инженерной конструкции для восстановления костного дефекта у кролика // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2019. — № 11. — С. 54–59
10. Иванов П.Ю. Клинико-лабораторное обоснование применения богатой тромбоцитами плазмы с аутогенным активатором при пластике альвеолярных отростков челюстей для подготовки к дентальной имплантации: дис. — Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральская государственная медицинская академия» Министерства здравоохранения и социального развития Российской Федерации, 2012.
11. Кесаева Г.А. Сравнительная оценка эффективности использования различных методов костной пластики в дентальной имплантации (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. №3.
12. Михайловский А.А. Сохранение объема костной ткани челюсти при удалении зубов: дис. — 2015.
13. Остеопластика в хирургической стоматологии /А.С. Иванов, А.В. Кабаньков, С.С. Мнацаканов, В.П. Румакин. — Санкт-Петербург: СпецЛит, 2018. — 79 с.
14. Стволовые клетки в стоматологии // Современная стоматология. 2012. №2 (55).
15. Isaev U. Обзор сохранения объема альвеолярной кости после удаления зуба // Medical science of Uzbekistan. — 2024. — №. 1. — С. 18–26.
16. Sanz-Sánchez I., Sanz-Martín I., Ortiz-Vigón A., Molina A., Sanz M. Complications in bone-grafting procedures: Classification and management. Periodontol 2000. 2022 Feb;88(1):86–102. doi: 10.1111/prd.12413. PMID: 35103322.
17. Stumbras A., Januzis G., Gervickas A., Kubilius R., Juodzbaly G. Randomized and Controlled Clinical Trial of Bone Healing After Alveolar Ridge Preservation Using Xenografts and Allografts Versus Plasma Rich in Growth Factors. J Oral Implantol. 2020;46(5):515–525.
18. Urban I.A., Monje A. Guided Bone Regeneration in Alveolar Bone Reconstruction. Oral Maxillofac Surg Clin North Am. 2019;31(2):331–338. doi:10.1016/j.coms.2019.01.003.
19. Urban I.A., Montero E., Amerio E., Palombo D., Monje A. Techniques on vertical ridge augmentation: Indications and effectiveness. Periodontol 2000. 2023 Oct;93(1):153–182. doi: 10.1111/prd.12471. Epub 2023 Jan 31. PMID: 36721380.

© Самбурова Кристина Михайловна (samburova-cristina@yandex.ru); Амхадова Малкан Абдрашидовна (amkhadova@mail.ru);

Сетдикова Галия Равиловна (galiya84@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МИКРОРНК В СОВРЕМЕННОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

ICRORNAS IN MODERN LABORATORY DIAGNOSTICS: LITERATURE REVIEW

**T. Chivilgina
E. Chernysheva
R. Magomedova**

Summary. microRNAs are a class of short (19–24 nucleotides) non-coding ribonucleic acid (RNA) molecules that regulate mammalian gene expression at the post-transcriptional level. microRNAs are involved in the regulation of such important biological processes as cell growth and differentiation, metabolism and apoptosis, and the immune response. Changes in microRNA expression are observed in various diseases, including cancer, cardiovascular diseases, neurological, mental disorders, autoimmune diseases, and diabetes mellitus. Clinical studies have proven that microRNAs can act as biomarkers and changes in their expression level can be used to diagnose diseases, including for early detection of a tumor/pathological process, assessment of disease prognosis and early detection of relapses, monitoring the effectiveness of therapy, including radiation and chemotherapy.

Keywords: microRNA, transcription, biomarker.

Чивиргина Татьяна Вячеславовна

ассистент кафедры кардиологии ФПО, Астраханский
государственный медицинский университет
tanushka1096@mail.ru

Чернышева Елена Николаевна

доктор медицинских наук, заведующая кафедрой,
Астраханский государственный
медицинский университет
Lena.chernysheva@inbox.ru

Магомедова Маусат Расуловна

Лаборант, Астраханский государственный
медицинский университет
maisa.magomedova.96@mail.ru

Аннотация. МикроРНК представляют собой класс коротких (19–24 нуклеотидов) не кодирующих молекул рибонуклеиновых кислот (РНК), которые регулируют экспрессию генов млекопитающих на пост транскрипционном уровне. МикроРНК принимают участие в регуляции таких важнейших биологических процессов, как клеточный рост и дифференцировка, метаболизм и апоптоз, иммунный ответ. Изменение экспрессии микроРНК наблюдается при различных заболеваниях, включая онкологические, сердечно-сосудистые заболевания, неврологические, психические расстройства, аутоиммунные заболевания, сахарный диабет. Клиническими исследованиями доказано, что микроРНК могут выступать в качестве биомаркеров и изменение уровня их экспрессии может быть использовано для диагностики заболеваний, в том числе для раннего выявления опухолевого/патологического процесса, оценки прогноза заболевания и раннего выявления рецидивов, мониторинга эффективности терапии, включая лучевую и химиотерапию.

Ключевые слова: микроРНК, транскрипция, биомаркер.

Многочисленные попытки изучить и доказать генетическую природу большинства заболеваний привели к открытию новых маркеров, в роли которых выступает класс так называемых малых рибонуклеиновых кислот (РНК) или микроРНК. МикроРНК — это класс не кодирующих РНК из 19–24 нуклеотидов, которые негативно регулируют экспрессию генов-мишеней. Из этого следует, что микроРНК участвуют в регуляции многочисленных и самых разнообразных клеточных функций и вовлечены в развитие многих заболеваний [41]. Первая микроРНК lin-4, приводящая к нарушению метаморфоза нематоды *Caenorhabditis elegans*, была выявлена в 1993 г. учеными Гарвардского университета под руководством V. Ambros [38]. Виктор Амброс и его коллеги Розалинд Ли и Ронда Фейнбаум сообщили в журнале «Cell», что они обнаружили одноцепочечные регуляторные молекулы РНК в организме свободноживущей почвенной нематоды. Предыдущие исследования показали, что ген *C. elegans*, известный как lin-4, важен для

нормального личиночного развития *C. elegans*, которую часто изучают как модельный организм. В частности, lin-4 отвечал за прогрессирующую репрессию белка LIN-14 во время личиночного развития червя; у мутантных червей с дефицитом lin-4 обнаруживались высокие уровни LIN-14 и временные дефекты развития [7]. В. Амброс и его коллеги обнаружили, что lin-4 не кодирует регуляторный белок. Вместо этого он является матрицей для синтеза двух небольших молекул РНК длиной в 22 и 61 нуклеотидов, которые назвали: lin-4S (короткие) и lin-4L (длинные). Анализ последовательности показал, что lin-4S был частью lin-4L: считалось, что lin-4L образует структуру стержень-петля, при этом lin-4S содержится в 5' плече. Кроме того, Амброс вместе с Гэри Рувкуном обнаружили, что lin-4S частично комплементарен нескольким последовательностям в 3'-нетранслируемой области матричной РНК (мРНК), кодирующей белок LIN-14. Амброс и его коллеги предположили, что lin-4 может регулировать LIN-14 посредством связывания lin-4S

с этими последовательностями в транскрипт *lin-14* одним из механизмов анти смысловой РНК [7]. В 2000 году была охарактеризована вторая микроРНК: *let-7* РНК, которая репрессирует ген *lin-41* и способствует более позднему переходу в развитии у *C. elegans*. Было обнаружено, что РНК *let-7* консервативна у многих видов, что привело к предположению, что РНК *let-7* и дополнительные «малые временные РНК» могут регулировать время развития у различных животных, включая человека [7].

Первыми, кто обнаружил микроРНК в биологических жидкостях, был S. Chim с соавторами, которые выявили плацентарные микроРНК в крови беременных женщин в концентрациях, легко поддающихся детекции [1]. В 2008 г. X. Chen с коллегами, подтвердили присутствие микроРНК, устойчивых к нуклеазам, в крови и продемонстрировали, что их уровни воспроизводимы и одинаковы среди здоровых индивидуумов [1]. Определение уровней внеклеточных микроРНК не ограничилось образцами крови. Серии работ посвящены обнаружению микроРНК во всех жидкостях человека, включая слюну, мочу, грудное молоко, слезную и семенную жидкость, бронхиальный лаваж, цереброспинальную жидкость, перитониальный и плевральный выпот, в которых и общая концентрация микроРНК, и их соотношение значительно варьируют, вероятно, в зависимости от особенностей патологического или физиологического статуса организма [1]. Обладая большинством свойств идеальных биомаркеров, включая устойчивость к нуклеазам, уникальную последовательность нуклеотидов, тканеспецифичность, малоинвазивность и общедоступность получения проб, относительную стабильность при комнатной температуре и неоднократных циклах замораживания/размораживания образцов крови, микроРНК заслуженно рассматриваются в качестве перспективных биомаркеров [70].

Действие микроРНК опосредовано их неполной гибридизацией с 3'-нетранслируемой областью целевой матричной РНК (мРНК), имеющей комплементарные сайты. При взаимодействии микроРНК и целевой мРНК основную роль играют 2–7 нуклеотидов, локализованных на 5'-конце микроРНК, названных Lewis «зерном микроРНК» [2]. В отличие от других известных эпигенетических механизмов регуляции биологических процессов, таких как метилирование ДНК, гистоновая модификация, АТФ-зависимое ремоделирование хроматина и др., микроРНК контролируют экспрессию генов на посттранскрипционном уровне. Приблизительно половина микроРНК-кодирующих генов представлена независимыми транскрипционными единицами, в то время как другая половина локализуется в интронах белок-кодирующих генов. Некоторые гены микроРНК формируют кластеры, с которых происходит транскрипция более чем одной микроРНК (полицистронные микроРНК). Большинство микроРНК транскрибируется с помощью

РНК-полимеразы II с последующим полиаденилированием первичного транскрипта, подобным таковому у мРНК (при-микроРНК). Длина при-микроРНК составляет несколько тысяч пар нуклеотидов. На первом этапе процессинга РНКнуклеаза (РНКаза III), названная Drosha, совместно с другими факторами рестрицирует при-микроРНК на более короткие фрагменты, длина которых составляет приблизительно 70 пар нуклеотидов. Полученные шпилькообразные фрагменты являются предшественниками микроРНК (пре-микроРНК). При помощи экспортин-5 шпилькообразная пре-микроРНК экспортируется в цитоплазму, где с участием РНКазы III, названной Dicer, происходит расщепление пре-микроРНК на короткие (18–24 п.н.) фрагменты. В результате образуются двуцепочечные РНК — дуплексы. В дальнейшем одна из цепей (ведущая цепь) инкорпорируется в ферментативный комплекс RISC (RNA-Induced Silencing Complex), в то время как другая подвергается деградации. Каждая микроРНК контролирует несколько сотен генов, при этом один и тот же ген может являться мишенью для нескольких микроРНК. Такая многофакторность воздействия значительно осложняет изучение механизма действия каждой микроРНК в отдельности и понимание взаимоотношений в сложных системах микроРНК-ген, микроРНК-мРНК [1].

МикроРНК могут высвобождаться из клеток и выявляться в сыворотке крови в любой из трех стабильных форм: 1) внеклеточные микроРНК из поврежденных тканей; 2) циркулирующие микроРНК, заключенные в микровезикулы; 3) микроРНК в комплексе с мРНК-связывающим белком (липопротеины высокой плотности и др.).

Обнаружение существенных изменений уровня экспрессии микроРНК при различных заболеваниях способствовало позиционированию этих молекул в качестве перспективных биомаркеров. Им присущи следующие характеристики идеального биомаркера:

1. высокая стабильность в биологических жидкостях, образцы могут храниться не менее 72 ч при температуре +4 °C и в течение нескольких месяцев при –20 °C или –80 °C. Согласно результатам исследования, концентрация некоторых микроРНК снижается при температуре +4 °C и предпочтительно замораживать образцы сразу при –80 °C.
2. устойчивость к внешним воздействиям, что позволяет эффективно выделять циркулирующие микроРНК из биологических жидкостей;
3. сопоставимость профилей микроРНК в норме у мужчин и женщин, а также у лиц разного возраста.

Однако, существуют и недостатки микроРНК как биомаркеров, основным из которых считается высокая вариабельность уровня их экспрессии в зависимости от множества факторов.

Далее мы изучили вопрос, касающийся методик анализа экспрессии микроРНК:

1. Микрочипы (microarray). Это миниатюрные системы гибридизации, которые позволяют проводить одновременный высокоуровневый анализ нескольких сотен микроРНК. Этот метод предлагает возможность проведения комбинаторного анализа между микроРНК и экспрессией генов на одном образце, что позволяет изучать функцию микроРНК и целевых генов. Принцип этого метода основан на обратной гибридизации в твердой фазе. Зонды ковалентно связаны с твердым носителем, в то время как микроРНК маркируются и присутствуют в жидкой фазе. Для микроРНК из-за их короткой последовательности нуклеотидов трудно стандартизировать температуры плавления. Эта проблема была решена на некоторых платформах (Exiqon) с использованием модифицированных ядер или LNA (Locked Nucleic Acid), которые включены в зонды гибридизации. Соответствующий выбор LNA уменьшает разницу в температуре плавления между каждым зондом и обеспечивает отличную спецификацию [50]. Более того, благодаря включению LNA в зонды можно дифференцировать микроРНК с очень похожими последовательностями. Однако эффективность экстракции микроРНК из биологических жидкостей намного ниже, чем эффективность, полученная из клеток или тканей, а микрочипы на самом деле не представляют собой метод количественного анализа. Поэтому микрочипы следует использовать для первоначального скрининга, за которым должна следовать индивидуальная валидация интересующих микроРНК с помощью qRT-PCR [3].
2. qRT-PCR или ПЦР в реальном времени используется в течение нескольких лет для анализа циркулирующих микроРНК и считается эталонным методом. Преимущество заключается в том, что его можно легко использовать в повседневной практике. Кроме того, он чувствителен, специфичен и предлагает широкий диапазон измерений. С помощью этой технологии возможно выполнить индивидуально для данной микроРНК или в виде панелей из нескольких сотен микроРНК, что требует использования микропланшетов, в которых каждая лунка содержит специфические праймеры для определенных микроРНК [3; 60].
3. Флуоресцентная маркировка и липофекция (доставка в эукариотические клетки соединений, которые инкапсулированы в липосомы) — два распространенных способа изменения уровней и локализации положения клеточных микроРНК [40]. Но флуоресцентно меченные микроРНК могут неспецифически связываться с поверхностью клеток гидрофобным взаимодействием. Это мо-

жет приводить к значительным ошибкам в оценке эффективности трансфекции в зависимости от интенсивности клеточной флуоресценции. Для точности результатов необходимы другие методы оценки эффективности трансфекции и более подходящие флуоресцентные красители для различных типов клеток.

Далее мы хотим дать детальную информацию о том, что микроРНК являются биомаркерами заболеваний.

Сердечно-сосудистые заболевания

МикроРНК участвуют в регуляции и функционировании сердечно-сосудистой системы. Ряд из них обнаруживают при сердечно-сосудистых заболеваниях, таких как: инфаркт миокарда, атеросклероз, сердечная недостаточность, фибрилляция предсердий и т. д. Связь между экспрессией микроРНК и развитием кардиомиоцитов в пренатальном периоде была обнаружена в ряде исследований при удалении фермента Dicer из кардиомиоцитов и эпикарда мышей. Данная мутация вызывала выраженные дефекты сердечно-сосудистой системы и приводила к эмбриональной либо неонатальной смерти организма [72]. По данным других авторов, описанная мутация вызывала развитие гипертрофии и фиброза в миокарде данных мышей, способствовала дилатации полостей сердца, что вело к развитию сердечной недостаточности [13].

Реперфузионное повреждение, связанное с инфарктом миокарда, приводит к ремоделированию сердечной мышцы, которое контролируется различными микроРНК. Активация сигнальных путей стресса запускает изменения в экспрессии микроРНК. Это приводит к повышенной регуляции, так называемого семейства myomiR (мышечно-специфичные микроРНК), а именно miR-1, miR-133a, miR-208a/b и miR-499, вскоре после инфаркта миокарда [7, 26, 68]. MiR-1 представляет собой мышечно-специфичную микроРНК, которая обнаруживается как в сердечных, так и в скелетных мышцах, и это первая микроРНК, участвующая в развитии сердца. Ее высвобождение при инфаркте миокарда указывает на некроз кардиомиоцитов [7, 27]. miR-133a, как и miR-1, является ключевым регулятором развития сердечной и скелетных мышц, а также участвует в дифференцировке клеток гладкой мускулатуры сосудистой стенки [7, 27, 36]. При этом, образуясь из общей РНК-предшественницы, miR-1 и miR-133a участвуют в развитии нормального сердца, регулируя пролиферацию, дифференцировку клеток и сердечную проводимость, однако играют совершенно противоположные роли: miR-1 стимулирует, а miR-133 ингибирует дифференцировку кардиомиоцитов. MiR-208a/b и miR-499 принадлежат к семейству miR-208. При этом miR-208a кодируется в генах тяжелой цепи миозина α -сердечной мышцы и способствует

регуляции проводящей системы, а miR-208b и miR-499 кодируются в интронах генов тяжелой цепи миозина β -сердечной мышцы и являются специфичными для сердца микроРНК. Признаком сердечного заболевания является переход от изоформы тяжелой цепи альфа-миозина (α -МНС) взрослых к экспрессии гена β -МНС плода с сопутствующим снижением сердечной функции [7; 25].

При изучении профиля экспрессии микроРНК с помощью qRT-PCR показано объективное увеличение количества циркулирующих микроРНК, таких как miR-499, miR-208b, у 32 пациентов с инфарктом миокарда, по сравнению с 36 здоровыми людьми, что позволило диагностировать инфаркт миокарда с хорошей чувствительностью и хорошей специфичностью в течение 4, 8, 12, 24 и 72 ч после сердечно-сосудистого события [28,39]. Кроме того, miR-133a и miR-208b связаны с риском смертности вследствие острого коронарного синдрома, что делает их потенциальными прогностическими маркерами [71].

М. Jaguszewski с соавторами изучали значение микроРНК в дифференциальной диагностике синдрома Такоубо и острого коронарного синдрома с подъемом сегмента ST (ОКСпST). Было выявлено, что экспрессия микроРНК-16, микроРНК-26a и let-7f была значительно выше у больных с синдромом Такоубо по сравнению с больными с ОКСпST. В то же время, уровень кардиоспецифичных микроРНК-1 и микроРНК-133a был выше у больных с ОКСпST по сравнению с больными с синдромом Такоубо [8; 33].

Атеросклероз является системной, хронической патологией, сопровождающейся развитием дисфункции эндотелия при активном вовлечении в процесс воспалительного и иммунного компонентов. Среди большого числа микроРНК, участвующих в регуляции воспалительных процессов, особого внимания заслуживают микроРНК-21 и 146. Одним из основных блокаторов воспалительной активности генов является микроРНК-21, активация которой угнетает выработку фактора некроза опухоли и активируются интерлейкины-6 и -13 [13]. МикроРНК регулируют функции между иммунными клетками, гладкомышечными клетками и сосудистым эндотелием, метаболизм холестерина. Некоторые микроРНК, такие как miR-155, могут усугубить ранние стадии атеросклероза, стимулируя воспалительный ответ и поглощение липидов макрофагами. И наоборот, другие микроРНК, такие как miR-126, обладают антиатерогенным действием [3; 46].

В исследовании, проведенном в Японии, выявлена повышенная экспрессия микроРНК-146a в плазме крови в группе из 66 больных ИБС по сравнению со здоровыми лицами. Было отмечено снижение экспрессии микроРНК-146a/b на фоне терапии статинами,

ингибиторами ангиотензинпревращающего фермента и блокаторами рецепторов ангиотензина в течение 12 месяцев [8; 63]. В исследовании Н. Gao с коллегами, в котором приняли участие 167 больных ИБС, выявлена сниженная экспрессия микроРНК-145 [8; 30]. В другое исследование были включены 255 больных с гиперлипидемией, как с ИБС, так и без ИБС, и 100 здоровых лиц с нормальными показателями липидного состава крови. Уровни микроРНК-122 и микроРНК-370 были повышены у больных с гиперлипидемией по сравнению с группой контроля. Отмечалась прямая корреляция между уровнем микроРНК-122 и микроРНК-370, и тяжестью поражения коронарных артерий [8; 31]. Напротив, другие авторы не выявили различий по экспрессии следующих микроРНК: 126 [8; 62], 33a/b [8; 31], 1, 16, 122, 208b, 375, 499 [8] у больных ИБС по сравнению со здоровыми лицами. На фоне этих противоречивых данных S.S. Wang с коллективом авторов провели мета-анализ для 239 микроРНК, ассоциированных с ИБС и подтвердили дифференциальную экспрессию 48 микроРНК, из которых микроРНК-122-5p и микроРНК-133a-3p обладали самой высокой диагностической ценностью [8; 69].

Ишемические нарушения в сердце, такие как инфаркт миокарда, могут вызывать последовательное ремоделирование миокарда и фиброз, следствием чего является развитие сердечной недостаточности (СН). МикроРНК, как было показано, участвуют в регуляции процессов роста, гипертрофии, фиброза и жизнеспособности миокарда, поэтому изменение концентрации специфичных микроРНК в крови отмечается у пациентов после инфаркта миокарда. На сегодняшний день в качестве биомаркеров диагностики СН используют N-терминальный фрагмент мозгового натрийуретического пептида (NT-proBNP) и ST2 (член семейства рецепторов интерлейкина-1). Как и сердечный тропонин, NT-proBNP характеризуется как высокой чувствительностью, так и значительным процентом ложноположительных реакций. Поэтому с клинической точки зрения особенно большое значение имеет высокая диагностическая чувствительность и специфичность микроРНК [13]. При развитии у человека СН в результате нарушения усвоения кальция, происходит сверхэкспрессия miR-765, которая играет важную роль в сократительном регулировании за счет увеличения уровня активности протеинфосфатазы 1 (PP-1) и последующим дефосфорилированием ключевых белков, реализующих цикл кальция, путем подавления его эндогенного ингибитора-1 [7; 45]. Кроме этого, наблюдается повышенная активность miR-25 в пораженном сердце, которая контролирует сократительную функцию миоцитов, подавляя насос поглощения кальция саркоплазматическим ретикуломом [7; 67].

Снижение уровней экспрессии микроРНК-126 в кардиомиоцитах правого желудочка у пациентов с декомпенсированной правожелудочковой СН при сравнении

с пациентами, имеющими только гипертрофию ПЖ, в отсутствие поражения левого желудочка (ЛЖ) являлось статистически значимым. Имели место различия и при сравнении пациентов с эпизодом острой декомпенсации СН и контролем [13; 48].

Важную роль в компенсации сердечной недостаточности играет miR-30d, обеспечивая защиту кардиомиоцитов от воспаления, вызванного TNF- α , и гибели клеток, воздействуя на белок MAP4K4, что приводит к благотворному ремоделированию сердца. Не менее важно отметить, что miR-30d оказывает значительное влияние на ответы на сердечную ресинхронизирующую терапию (CRT) [7; 44]. При недостаточности ПЖ, вследствие легочной артериальной гипертензией, особая роль уделяется miR-126, накопление которого способствует улучшению плотности микрососудов. Поэтому введение имитаторов miR-126 позволит уменьшить фиброз и обеспечить восстановление функции ПЖ.

При исследовании 39 здоровых лиц и 50 лиц, имеющих симптомы одышки (у 30 пациентов диагностирована СН, в то время как у других 20, данные жалобы были не связаны с СН), у пациентов с СН отмечалось повышение уровня экспрессии 6 микроРНК: микроРНК-18В, 129-5р, 423-5р, 622, 675 и 1254. Среди этих микроРНК выраженная корреляция с клиническим диагнозом СН выявлена у микроРНК-423-5р [13; 65].

Вирус Коксаки В3, является одной из основных причин воспаления и повреждения миокарда, приводящих в 20 % случаев к внезапной сердечной смерти у молодых людей и подростков. X. Ye с коллегами в результате методичного исследования изменений микроРНК-21 при инфекции вируса Коксаки продемонстрировали, что гиперэкспрессия микроРНК-21 снижает уровни компонентов межклеточных соединений путем как деградации белков, так и прямого подавления их синтеза [13]. Ингибирование микроРНК-21 может уменьшить повреждение миокарда, вызванное вирусом Коксаки В3. Отечественными авторами продемонстрирована возможность применения данного типа микроРНК для дифференциальной диагностики этиологии хронической СН [13].

Исследования, сосредоточенные на конкретных микроРНК, показали высокий уровень экспрессии микроРНК-24, 100, 125b, 195, 199a, 214 и низкий уровень экспрессии микроРНК-18, семейств микроРНК-19 и 133 при различных заболеваниях, таких как идиопатическая дилатационная кардиомиопатия, ишемическая кардиомиопатия, исходом которых является СН [13; 61; 66].

Гипертоническая болезнь, патофизиология которой является многофакторной и включает эндотелиальную дисрегуляцию и дисфункцию гладкой мускулатуры сосудов, активации симпатической нервной системы и ги-

перактивация ренин-ангиотензин-альдостероновой системы (RAAS), также представляет интерес относительно микроРНК, которые оказывают регуляторную функцию на эти процессы. RAAS играет центральную роль в регуляции артериального давления. Взаимодействие между рецептором ангиотензина II типа 1 AGTR1 и микроРНК может быть ответственным за гипертензию и сердечно-сосудистые осложнения, потому что молчащий полиморфизм (+1166A/C SNP) AGTR1 распознается miR-155. AGTR1 отрицательно коррелирует с экспрессией miR-155 и положительно с уровнем давления, подтверждая потенциальную роль miR-155 в регуляции артериального давления. Ингибирование miR-155 в клетках яичников китайского хомячка привело к усилению регуляции AGTR1 и активации ERK1/2. [7; 55]. Кроме того, за счет расположения гена miR-155 было установлено, что трисомия 21 хромосомы приводит к низкой экспрессии AGTR1 и активации miR-155. [7; 24;]. miR-155 может распознавать 3'-UTR человеческого AGTR1, и они совместно экспрессировались в клетках яичника китайского хомячка, поскольку трансфекция ингибитором miR-155 привела к усилению активации AGTR1 и ERK1/2 [3; 24].

Показана экспрессия различных микро-РНК у пациентов с эссенциальной гипертензией [6]. Предполагается связь miR-155, полиморфизма A1166C в гене рецептора 1 к ангиотензину II (AT1R) и экспрессии AT1R с эффективностью контроля артериального давления. Также, с риском гипертензии может быть ассоциирован распространенный однонуклеотидный полиморфизм в гене ATP6V0A1, создающий локус для связывания miR-637. Экспериментальные данные in-vitro подтвердили, что miR663 и miR-181a, по-разному экспрессируемые в корковом слое почек у пациентов с артериальной гипертензией, влияют на синтез ренина [53].

Фибрилляция предсердий (ФП) является наиболее распространенным устойчивым типом нарушения ритма сердца. Наиболее часто встречающимися факторами риска ФП являются сердечная недостаточность, диабет, артериальная гипертензия, гипертиреоз, ожирение, пол, структурные заболевания сердца [18]. Многие факторы риска ФП, включая генетические, молекулярные и экологические, способствуют развитию и других сердечно-сосудистых заболеваний. По последним данным, в мире насчитывается более 33 млн человек, страдающих ФП, при этом прослеживаются гендерные особенности заболеваемости — у мужчин частота возникновения ФП в 3 раза выше, чем у женщин [14; 35]. Наиболее простым и часто используемым методом диагностики ФП является электрокардиография, однако данный метод имеет весомый недостаток, заключающийся в кратковременности записи электрической активности сердца, что ограничивает диагностику у бессимптомных пациентов. Существующие лабораторные биомаркеры повреждения миокарда (сердечные тропонины, натрийуретиче-

ские пептиды, креатинфосфокиназа, лактатдегидрогеназа, аспатаминотрансфераза и др.) имеют низкую значимость в прогнозировании течения ФП. В последнее время в связи с открытием новых регуляторных молекул в качестве значимого фактора риска развития ФП рассматривается генетический компонент. МикроРНК очень стабильны в экстремальных условиях, таких как: изменение кислотности среды (рН), высокая или низкая температура, они могут выдерживать многократно повторяющиеся циклы замораживания — оттаивания. МикроРНК могут быть легко обнаружены с высокой специфичностью и чувствительностью в сыворотке и плазме крови при помощи полимеразной цепной реакции [58]. Поскольку микроРНК связаны с липопротеинами высокой плотности или включены в микровезикулы, экзосомы и апоптотические тела, они устойчивы к активности РНКазы. Однако, экзогенные микроРНК быстро разлагаются РНКазой в плазме. Стабильность микроРНК и возможность их обнаружения во многих биологических жидкостях делают микро-РНК перспективными биомаркерами для многих заболеваний сердца и сосудов, включая ФП [14; 35]. При рассмотрении вопроса относительно конкретных микроРНК и нарушений ритма были получены следующие результаты:

1. МикроРНК-1 обильно экспрессируется в сердечной и скелетной мышцах и играет важную роль в эмбриогенезе (развитии) мышечных тканей. Обнаружено, что микроРНК-1 способствует дифференцировке и пролиферации миобластов [6]. Изменение экспрессии микроРНК-1 сказывается на электрофизиологии сердца, повышая риск развития сердечных аритмий. Ряд исследований подтверждают связь между уровнем экспрессии микроРНК-1 и возникновением аритмий [18]. В частности, было показано, что микроРНК-1 модулирует электрическое ремоделирование сердца за счет снижения концентрации внутриклеточных ионов кальция, которые в конечном итоге снижают экспрессию *CACNB2*. Кроме того, отрицательная регуляция Ca^{2+} -регуляторных белков, таких как кальмодулин, белковая фосфатаза 2A (*PP2A*), Na^{+}/Ca^{2+} -обменник (*NCX*) и фосфоламбан, вносит свой вклад в патогенез ФП путем укорочения предсердного эффективного рефрактерного периода [18].
2. Экспрессия микроРНК-21 повышается в кардиомиоцитах у пациентов с постоянной формой ФП [1]. Это вызывает снижение экспрессии генов *CACNA1C* и *CACNB2*, кодирующих две субъединицы потенциал-управляемых кальциевых каналов, что приводит к уменьшению $ICaL$ [1]. Повышенная экспрессия микроРНК-21 в фибробластах увеличивает риск сердечного фиброза и ассоциированной с ним ФП. По данным O. Adam с соавторами, усиление экспрессии микроРНК-21 в миокарде крыс и людей с ФП увеличивает ак-

тивность митоген-активируемой протеинкиназы/внеклеточных регулируемых сигналом киназ (MAPK/ERK-сигнальный путь), который способствует ремоделированию предсердий и фиброзу [1]. Опубликованные в 2012 г. результаты исследования S.Cardin указывают на то, что уровень микроРНК-21 повышается в предсердиях при ишемической СН, а подавление гиперэкспрессии микроРНК-21 предупреждает развитие фиброза предсердий и ФП. Чтобы избежать косвенного протективного влияния после системного введения антимикроРНК, авторы предпочли использовать инъекцию непосредственно в ткань предсердия. Обращает на себя внимание и то, что, несмотря на дилатацию левого предсердия, антимикроРНК-21 удалось подавить развитие ФП. Позитивная взаимосвязь уровня микроРНК-21 и степени фиброза правого предсердия при ФП была продемонстрирована H. Nishi и его коллегами, при этом экспрессия микроРНК-21 была наибольшей в группе пациентов с постоянной ФП или с неудачной операцией «лабиринт», снижаясь в группе с успешным оперативным лечением ФП и достигая минимума в группе с исходным синусовым ритмом. Возможность предопределения степени фиброза по уровню микроРНК-21 в крови может дать дополнительную информацию хирургам для выбора показаний к оперативному лечению ФП [19; 22; 64].

3. Дисрегуляция вегетативной нервной системы сердца, опосредованная микроРНК-30, играет фундаментальную роль в инициации и поддержании ФП за счет увеличения тока через G-белок-связанные калиевые каналы внутреннего выпрямления (*IKACH*), который уменьшает продолжительность потенциала действия [6]. Повышение уровня экспрессии микроРНК-30 вызывало угнетение экспрессии гена *KCNJ3* и снижение ацетилхолин-зависимого калиевого тока (IK^{+} , *ACh*) у пациентов с персистирующей ФП [18].

В многочисленных исследованиях показано, что определенные типы микроРНК, ответственные за регуляцию генов и ремоделирование сердца, в частности микроРНК-1, микроРНК-328, микроРНК-499, микроРНК-21, микроРНК-150 и ряд других могут стать новым классом диагностических и прогностических биомаркеров для ФП [18].

Бронхо-легочные заболевания

МикроРНК необходимы для развития легких и поддержания легочного гомеостаза на протяжении всей жизни. Глобальное удаление «легочных» микроРНК с помощью специфичной для легких делеции *Dicer* приводит к аномальному апоптозу и нарушению ветвления

воздушных путей в процессе развития легких. Полагают, что развитие легких контролируется кластером miR1792, в состав которого входят miR17, miR18, miR19, miR20 и miR92. У мышей без кластера miR1792 развивается гипоплазия легких, в то время как гиперэкспрессия этого кластера обуславливает отсутствие терминальных бронхиол [34].

ХОБЛ — это гетерогенное заболевание, характеризующееся неполностью обратимой бронхообструкцией и аномальным воспалительным ответом легких на ингалируемые частицы или газы, особенно на сигаретный дым [13]. ХОБЛ является одной из наиболее распространенных причин смерти во всем мире. Патогенез ХОБЛ многофакторный в плане генетики и факторов окружающей среды. Исследование экспрессии микроРНК16, микроРНК17, микроРНК29с, микроРНК92, микроРНК125, микроРНК126, микроРНК146, микроРНК155, микроРНК181, микроРНК122 в общем количестве микро-РНК с использованием метода ПЦР real time позволило выявить, что экспрессия этих микро-РНК у здоровых лиц и больных ХОБЛ отличается. Обнаружено, что уровни микроРНК-29с ($p = 0,043$) и -126 ($p = 0,012$) значительно отличаются по сравнению с контрольной группой, кроме того, экспрессия микроРНК-92 снижается на стадии II, а изменений среди других микро-РНК не наблюдается. Экспрессия микроРНК-29с и микроРНК-126 значительно отличается на стадии III и только экспрессия микроРНК-126 — на стадии IV. Оценка микро-РНК может быть полезной для диагностики и прогноза течения заболевания. При ХОБЛ у курильщиков по сравнению с некурящими в основном наблюдается гипоэкспрессия микроРНК [10; 54]. В частности, экспрессия 8 микроРНК (miR34c, miR218, miR34b, let7c, miR3423p, miR 125a5p, miR30e3p и miR125b) значительно снижена у курильщиков с ХОБЛ по сравнению с лицами, никогда не курившими. Выявлено несколько микроРНК, экспрессия которых коррелирует со степенью тяжести ХОБЛ. В частности, экспрессия miR15b и miR146a коррелирует с результатами спирометрии при ХОБЛ [10; 52]. При этом у больных с эмфиземой и фиброзом повышена экспрессия miR15b, miR10/107, miR424, miR107 [10; 54].

Бронхиальная астма (БА) — это хроническое воспалительное заболевание дыхательных путей, с эпизодами развития бронхиальной гиперреактивности и обструкции дыхательных путей. Выявлено значительное число факторов риска развития БА, их можно разделить на внешние и внутренние (преимущественно генетические, в т. ч. нарушения работы системы микроРНК). Показано, что ингибирование miR155 приводит к повышению активности транскрипционных факторов, вовлеченных в развитие микроокружения лимфоцитовхелперов Th2, что наводит на мысль об участии этой микроРНК в патогенезе БА. Профиль экспрессии микроРНК у больных БА отличается от такового у лиц без БА [10; 59]. У больных БА наблюдается гипоэкспрессия miR 133a. Полагают, что

IL13 модулирует фенотип бронхиальных гладкомышечных клеток путем угнетения miR133a, вследствие чего возрастает экспрессия гена RhoA. RhoA — это ключевой белок, обеспечивающий сократимость гладких миоцитов; повышение его концентрации ассоциировано с усиленным сокращением гладкомышечных клеток бронхов [10; 52].

Рак легких обуславливает самую высокую смертность в мире среди злокачественных новообразований как у женщин, так и у мужчин. МикроРНК могут быть инструментом выбора для ранней диагностики у лиц с повышенным риском, снизив риск диагностики на поздних стадиях. Экзосомы, выделяемые опухолевыми клетками, имеются в большом количестве в биологических жидкостях организма и содержат повышенные уровни экспрессии микроРНК, которые отражают процесс опухоли и ее влияние на соседние и отдаленные клетки, делая их тем самым биомаркерами и потенциальными терапевтическими целями. МикроРНК непосредственно связаны с мутациями с участием сигнальных путей, таких как EGF (эпидермальный фактор роста), гена Ras и гена киназы анапластической лимфомы (Alk), а также супрессоры опухолей, такие как PTEN (фосфатаза и тензиновый гомолог, удаленные на хромосоме 10) и транскрипционного фактора p53 [3; 23].

Эндокринные заболевания

Сахарный диабет (СД) — распространенное заболевание, характеризующееся хронической гипергликемией и сопровождающееся повреждением и дисфункцией почек, нервов, сердца, кровеносных сосудов и других органов. По данным Всемирной организации здравоохранения сегодня в мире насчитывается более 400 миллионов лиц с СД 2 типа, и их число неуклонно растет с каждым годом [14]. В 2035 г. ожидаемая смертность от осложнений данной патологии составит около 592 млн случаев [3; 32]. В настоящее время диагноз СД основан главным образом на содержании глюкозы в крови, гликированного гемоглобина (HbA1c), результатах глюкозотолерантного теста (OGTT — пероральная гипергликемия). Многие циркулирующие микроРНК deregulированы в ткани поджелудочной железы при СД и могут служить в качестве биомаркеров. Например, у пациентов с СД 1-го типа проявляется экспрессия miR-375, miR-25, miR-21, miR-126 и miR-210 [3; 47]. Существует отсутствие экспрессии нескольких микроРНК у пациентов с СД 2-го типа, а также у лиц с ожирением. МикроРНК участвуют в развитии СД и его осложнений, ориентируясь на гены, ответственные за резистентность к инсулину (miR-103, miR-107 и miR-802) и действуя на гены, которые играют важную роль в развитии диабетической нефропатии (miR-93 и miR-192) [3; 42]. МикроРНК могут воздействовать на развитие СД 1 типа несколькими путями: вызывая разрушение и изменение функции

β -клеток поджелудочной железы (БКПЖ), подавляя экспрессию гена инсулина и стимулируя аутоиммунный ответ на бета-клетки. Данные эффекты реализуются посредством ингибирования или стимулирования молекулами микроРНК специфических мишеней — мРНК генов, вовлеченных в различные сигнальные пути и механизмы. Так, у детей с СД 1 типа в крови определен повышенный уровень miR-21, вызывающей апоптоз БКПЖ за счет стимуляции выработки каспазы-3 [11; 37]. Сходным эффектом действия на БКПЖ обладает miR-375, мишенями которой являются гены *Aifm1*, *Gephyrin*, *Ywhaz*, *Mtpn*, участвующие в экзоцитозе инсулина. Кроме того, отмечена способность miR-375 подавлять экспрессию гена инсулина [11; 49]. miR29, уровни которой повышены в сыворотке больных СД 1 типа [12], стимулирует апоптоз путем подавления экспрессии антиапоптозных белков [11; 51]. Проведенный в 2021 году мета-анализ данных об ассоциации циркулирующих микроРНК в сыворотке и плазме крови больных СД 1 типа показал наиболее достоверное повышение экспрессии 2 микроРНК (miR-181, miR-210) и снижение — 1 микроРНК (miR-375) у пациентов по сравнению со здоровым контролем [11; 22].

В настоящее время исследователями выявлено более 250 микроРНК, профиль которых изменен у пациентов с СД 2 типа по сравнению с контрольной группой в цельной крови, плазме, сыворотке, агранулоцитах, клетках островков поджелудочной железы и поперечнополосатой мускулатуре. miR-375 является одной из наиболее изученных микроРНК у пациентов с СД 2 типа. Она высокоэкспрессирована в клетках островков поджелудочной железы [14; 28; 51], также детектируется в цельной крови, плазме [14; 41] и сыворотке [14]. Известно, что miR-375 играет важную роль в формировании инсулин-секретирующих клеток [14]. Экспрессия miR-375 регулируется транскрипционными факторами PDX1 и NEUROD1, ответственными за созревание β -клеток и экспрессию гена инсулина соответственно [14]. Повышенный уро-

вень miR-375 угнетает индуцируемую глюкозой секрецию инсулина путем подавления экзоцитоза. Еще одной перспективной для дальнейшего изучения микроРНК представляется miR-126, высоко экспрессированная в клетках эндотелия сосудов [14]. Считается, что основной функцией miR-126 является подавление активности репрессоров фактора роста эндотелия сосудов VEGF [14]. Так показано, что «пассажирская» цепь miR-126-5p поддерживает пролиферативный резерв клеток эндотелия путем подавления гена-мишени *DLK1*, продукт которого является ингибитором ангиогенеза, в связи с чем, восстановление поврежденной сосудистой стенки и рост сосудов могут быть замедлены при сниженном уровне miR-126. miR-144 играет важную роль в патогенезе СД 2 типа, так как одним из генов-мишеней для нее является ген *IRS1*, кодирующий субстрат 1 инсулинового рецептора. Продукт этого гена выступает посредником между рецепторами инсулина, инсулиноподобного фактора роста 1 и элементами внутриклеточного сигнального пути PI3K/AKT. Известно, что этот сигнальный путь задействован в перемещении инсулинзависимого транспортера глюкозы 4 (GLUT4) из цитоплазмы в плазматическую мембрану, поэтому при повышенном уровне miR-144 нарушается захват глюкозы адипоцитами — клетками скелетной мускулатуры и миокарда [14].

Заключение

Подводя итоги обзора литературы, следует подчеркнуть, что при развитии патологических состояний, как правило, изменяется уровень экспрессии не одной, а множества микроРНК. В силу данного положения регистрация изменения количества нескольких ключевых микроРНК, несомненно, может быть использована для понимания не только патофизиологических основ развития конкретного заболевания, но и поиска молекулярно-генетических подходов к его ранней диагностике и лечению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабушкина Н.П. Генетическая основа функционирования малых регуляторных РНК у человека / Н.П. Бабушкина // Генетика человека и патология: сборник научных трудов / под ред. В.П. Пузырева. — Томск: Печатная мануфактура, 2007. — Вып. 8. — С. 219–228.
2. Вильгельм А.Э. Интерференция РНК: биология и перспективы применения в биомедицине и биотехнологии / А.Э. Вильгельм С.П. Чумаков В.С. Прасолов // Молекулярная биология. — 2006. — Т 40, № 3. — С. 387–403.
3. Гареев И.Ф., Бейлерли О.А. Циркулирующие микроРНК как биомаркеры: какие перспективы? Профилактическая медицина. 2018;21(6):142–150. <https://doi.org/10.17116/profmed201821061142>
4. Катохин, А.В. МикроРНК — новые регуляторы активности генов у эукариот / А.В. Катохин, Т.Н. Кузнецова, Н.А. Омелянчук // Информационный Вестник ВОГиС. — 2006. — Т. 10, № 2 — С. 241–272.
5. Кондратов К. МикроРНК как маркер повреждения миокарда / К. Кондратов // Трансляционная медицина / под ред. Е. В. Шляхто. — СПб.: Фонд высоких медицинских технологий, 2015. — С. 235–239.
6. Конради А.О. Эпигенетические механизмы в становлении и прогрессировании артериальной гипертензии и ее осложнений / А.О. Конради // Трансляционная медицина / под ред. Е. В. Шляхто. — СПб.: Фонд высоких медицинских технологий, 2015. — С. 375–387.
7. Корнилов Д.О., Тряпицын М.А., Симарзина В.М., Королева Д.С., Гребнев Д.Ю., Маклакова И.Ю. Перспективы использования микроРНК в современных методах диагностики и терапии. Вестник уральской медицинской академической науки. 2022, Том 19, №2, с. 109–131, DOI: 10.22138/2500–0918-2022-19-2-109-131.

8. Кукава Н.Г., Шахнович Р.М., Осьмак Г.Ж., Баулина Н.М., Матвеева Н.А., Фаворова О.О. Участие микроРНК в развитии ишемической болезни сердца. Кардиология. 2019;59(10):78–87.
9. Макарова Ю.А., Крамеров Д.А. Некодирующие РНК // Биохимия. 2007. Т. 72, № 11. С. 1427–1448. [Makarova Yu.A., Kramerov D.A. Non-coding RNA. Biokhimiya = Biochemistry, 2007, vol. 72, no. 11, pp. 1427–1448. (In Russ.)]
10. Миронова Ж.А. и др. Геномные технологии в пульмонологии: роль микроРНК в развитии бронхиальной астмы и ХОБЛ. Пульмонология. 2016; 26 (1): 5–11.
11. Мустафин Р.Н. Взаимосвязь МИКРОРНК с транспозонами в развитии сахарного диабета 1 типа. Архивъ внутренней медицины. 2023; 13(6): 413–421. DOI: 10.20514/2226–6704-2023-13-6-413-421. EDN: LLKGAF.
12. Попов Б.В. Введение в клеточную биологию стволовых клеток: учебно-методическое пособие / Б.В. Попов. — СПб.: СпецЛит, 2010. — 319 с.
13. Ромакина В.В., Жиров И.В., Насонова С.Н., Засеева А.В., Кочетов А.Г., Лянг О.В., Терещенко С.Н. МикроРНК как биомаркеры сердечно-сосудистых заболеваний. Кардиология. 2018;58(1):66–71
14. Тонян З.Н., Насыхова Ю.А., Михайлова А.А., Глотов А.С., Микро-РНК как потенциальные биомаркеры сахарного диабета 2-го типа. ГЕНЕТИКА, 2021, том 57, № 7, с. 752–766. Global report on diabetes] // Женева. 2018. Лицензия: CCBY-NC-SA 3.0 IGO.
15. Федоров А.В. Современные методы модулирования и визуализация эндогенных микроРНК / А.В. Федоров, А.А. Костарева // Бюллетень Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова. — 2012. — № 5. — С. 77–81.
16. Федоров А.В. Перспективы использования микроРНК в качестве биомаркера ишемического повреждения миокарда / А.В. Федоров, А.А. Костарева, М.М. Галагудза, С.М. Минасян, Д.И. Курапеев // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. — 2012. — Т. 11, № 3 (43). — С. 69–75.
17. Федоров А.В. Повышение уровня микроРНК-208a в цельной крови после ишемии-реперфузии миокарда у крыс / А.В. Федоров, С.М. Минасян, А.А. Костарева, В.О. Кабанов, М.М. Галагудза, Д.И. Курапеев // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. — 2012. — Т. 11, № 2 (42). — С. 66–71.
18. Чаулин А.М., Дупляков Д.В. МикроРНК: роль в патофизиологии фибрилляции предсердий и возможности использования в качестве биомаркера. Бюллетень сибирской медицины. 2021; 20 (3): 203–212. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2021-3-203-212>.
19. Чаулин А.М., Карслян Л.С., Григорьева Е.В., Нурбалтаева Д.А., Дупляков Д.В. Клинико-диагностическая ценность кардиомаркеров в биологических жидкостях человека. Кардиология. 2019; 59 (11): 66–75. DOI: 10.18087/cardi.2019.11. n414.
20. Швангирадзе Т.А., Бондаренко И.З., Трошина Е.А. Роль микро-РНК в диагностике сердечно-сосудистых заболеваний у пациентов с ожирением. Consilium Medicum. 2021; 23 (4): 358–362. DOI: 10.26442/20751753.2021.4.200827
21. Шляхто Е.В. Кардиопротекция: фундаментальные и клинические аспекты / Е.В. Шляхто, Н.Н. Петрищев, М.М. Галагудза, Т.Д. Власов, Е.М. Нифонтов — СПб.: ООО Студия «НП-Принт», 2013. — С. 249–255.
22. Barana A., Matamoros M., Dolz-Gaiton P, Pérez-Hernández M., Amoros I., Nunez M., Sacristán S., Pedraz Á., Pinto Á., Fernández-Avilés F., Tamargo J., Delpón E., Caballero R. Chronic atrial fibrillation increases microRNA-21 in human atrial myocytes decreasing L-type calcium current. Circ. Arrhythm. Electrophysiol. 2014; 7 (5): 861–868. DOI: 10.1161/CIRCEP.114.001709.
23. Barger J.F., Nana-Sinkam S.P. MicroRNA as tools and therapeutics in lung cancer. Respir Med. 2015; 109:803–812. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2015.02.006>
24. Batkai S., Thum T. MicroRNAs in hypertension: Mechanisms and therapeutic targets. Curr Hypertens Rep. 2012, Vol. 14 (1), pp. 79–87 DOI: 10.1007/s11906-011-0235-6.
25. Callis T.E., Pandya K., Seok H.Y.; et al. MicroRNA-208a is a regulator of cardiac hypertrophy and conduction in mice. J. Clin. Investig. 2009, Vol. 119 (9), pp. 2772–2786. DOI: 10.1172/JCI36154.
26. Cheng C., Wang Q., You W.; et al. MiRNAs as Biomarkers of Myocardial Infarction: A MetaAnalysis. PLoS One. 2014, Vol. 9 (2), e88566. DOI: 10.1371/journal.pone.0088566.
27. Chen J.F., Mandel E.M., Thomson J.M.; et al. The role of microRNA-1 and microRNA-133 in skeletal muscle proliferation and differentiation. Nature Genetics. 2005, Vol. 38, pp. 228–233. DOI: 10.1038/ng1725.
28. Devaux Y., Vausort M., Goretti E., Nazarov P.V., Azuaje F., Gilson G. Use of circulating microRNAs to diagnose acute myocardial infarction. Clin Chem. 2012; 58:559–567. <https://doi.org/10.1373/clinchem.2011.173823>
29. Gacoń J., Kabłak-Ziembicka A., Stępień E., Enguita F.J., Karch I., Derlaga B. et al. Decision-making microRNAs (miR-124, -133a/b, -34a and -134) in patients with occluded target vessel in acute coronary syndrome. Kardiologia Polska. 2016;74(3):280–8. DOI: 10.5603/KP.a2015.0174
30. Gao H., Guddeti R.R., Matsuzawa Y., Liu L-P., Su L-X., Guo D. et al. Plasma Levels of microRNA-145 Are Associated with Severity of Coronary Artery Disease. PLOS ONE. 2015;10(5): e0123477. DOI: 10.1371/journal.pone.0123477.
31. Gao W., He H-W., Wang Z-M., Zhao H., Lian X-Q., Wang Y-S. et al. Plasma levels of lipometabolism-related miR-122 and miR-370 are increased in patients with hyperlipidemia and associated with coronary artery disease. Lipids in Health and Disease. 2012;11(1):55. DOI: 10.1186/1476-511X-11-55
32. Guariguata L., Whiting D.R., Hambleton I., Beagley J., Linnenkamp U., Shaw J.E. Global estimates of diabetes prevalence for 2013 and projections for 2035. Diabetes Res Clin Pract. 2014; 103:137-149. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2013.11.002>
33. Jaguszewski M., Osipova J., Ghadri J-R., Napp L.C., Widera C., Franke J. et al. A signature of circulating microRNAs differentiates takotsubo cardiomyopathy from acute myocardial infarction. European Heart Journal. 2014;35(15):999–1006. DOI: 10.1093/eurheartj/eh392.
34. Kara M. Differential Expression of MicroRNAs in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. / Kara M., Kirkil G., Kalemci S. // Adv Clin Exp Med. — 2016. — V.25, №1. — P.21–26. — doi: 10.17219/acem/28343.
35. Ko D., Rahman F., Martins M.A., Hylek E.M., Ellinor P.T., Schnabel R.B., Benjamin E.J., Christophersen I.E. Atrial fibrillation in women: treatment. Nat. Rev. Cardiol. 2017; 14 (2): 113–124. DOI: 10.1038/nrcardio.2016.171
36. Kondkar A.A., Abu-Amro K.K. Utility of circulating microRNAs as clinical biomarkers for cardiovascular diseases. Biomed Res Int. 2015, Vol. 2015 (4), pp. 1–10. DOI: 10.1155/2015/821823.
37. Lakhter A.J., Pratt R.E., Moore R.E. et al. Beta cell extracellular vesicle miR-21-5p cargo is increased in response to inflammatory cytokines and serves as a biomarker of type 1 diabetes. Diabetologia. 2018; 61:1124–1134. doi: 10.1007/s00125-018-4559-5
38. Lee R.C. The C. elegans heterochronic gene lin-4 encodes small RNAs with antisense complementarity to lin-14 / R.C. Lee, R.L. Feinbaum, V Ambros // Cell. — 1993. — Vol. 75, № 5. — P. 843–854.
39. Long G., Wang F., Duan Q., Chen F., Yang S., Gong W., Wang Y., Chen C., Dao Wang D.W. Human circulating microRNA-1 and microRNA-126 as potential novel indicators for acute myocardial infarction. Int J Biol Sci. 2012; 8:811. <https://doi.org/10.7150/ijbs.4439>

40. Lu T. The Non-Specific Binding of Fluorescent-Labeled MiRNAs on Cell Surface by Hydrophobic Interaction. / Lu T., Lin Z., Ren J. [et al.] // PLoS One. — 2016. — V.11, №3. — e0149751. doi: 10.1371/journal.pone.0149751. eCollection 2016.
41. Mann D. L. MicroRNAs and the failing heart / D. L. Mann // N. Engl. J. Med. — 2007. — Vol. 356. — P. 2644–2645
42. Marchand L. Au-delà de la génetique conventionnelle: micro-ARN et diabète. *Med Mal Metab.* 2014; 8:324–326.
43. Margaritis K., Margioulas-Siarkou G., Margioulas-Siarkou C. et al. Circulating serum and plasma levels of micro-RNA in type-1 diabetes in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Eur J. Clin Invest.* 2021; 51(7): e13510. doi: 10.1111/eci.13510
44. Melman Y.F., Shah R., Danielson K.; et al. Circulating MicroRNA-30d is associated with response to cardiac resynchronization therapy in heart failure and regulates cardiomyocyte apoptosis: A translational pilot study. *Circulation.* 2015, Vol. 131(25), pp. 2202–2216. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.114.013220
45. Mendell J.T., Olson E.N. MicroRNAs in stress signaling and human disease. *Cell.* 2012, Vol. 148 (6), pp. 1172–1187. DOI: 10.1016/j.cell.2012.02.005
46. Nazari-Jahanigh M., Egea V., Schober A., Weber C. MicroRNA-specific regulatory mechanisms in atherosclerosis. *J Mol Cell Cardiol.* 2015; 89:35–41. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2014.10.021>,
47. Osipova J., Fischer D.C., Dangwal S., Volkman I., Widera C., Schwarz K., Lorenzen J.M., Schreiber C., Jacoby U., Heimhalt M., Thum T., Haffner D. Diabetes—associated microRNAs in pediatric patients with type 1 diabetes mellitus: a cross-sectional cohort study. *J. Clin Endo Metab.* 2014;9: E1661–E1665. <https://doi.org/10.1210/jc.2013-3868>
48. Potus F., Ruffenach G., Dahou A. et al. Downregulation of MicroRNA-126 Contributes to the Failing Right Ventricle in Pulmonary Arterial Hypertension. *irculation* 2015;132 (10):932–943. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.016382.
49. Poy M.N., Eliasson L., Krutzfeldt J. et al. A pancreatic islet-specific microRNA regulates insulin secretion. *Nature.* 2004; 432:226–230
50. Pritchard C.C., Cheng H.H., Tewari M. MicroRNA profiling: approaches and considerations. *Nat Rev Genet.* 2012; 12:358–369. <https://doi.org/10.1038/nrg3198>
51. Roggli E., Gattesco S., Caille D. et al. Changes in microRNA expression contribute to pancreatic beta-cell dysfunction in prediabetic NOD mice. *Diabetes.* 2012; 61: 1742–1751
52. Rupani H., SanchezElsner T., Howarth P. MicroRNAs and respiratory diseases. *Eur. Respir. J.* 2013; 41 (3): 695–705
53. Sanner B., Hausberg M. Arterial Hypertension // *Deutsche Medizinische Wochenschrift.* 2017. Vol. 142, №15. P. 1128–1132. doi:10.1055/s-0043-110491
54. Sessa R., Hata A. Role of microRNAs in lung development and pulmonary diseases. *Pulm. Circ.* 2013; 3 (2): 315–328
55. Shi L., Liao J., Liu B.; et al. Mechanisms and therapeutic potential of microRNAs in hypertension. *Drug Discov Today.* 2015, Vol. 20 (10), pp. 1188–1204. DOI: 10.1016/j.drudis.2015.05.007
56. Shlyakhto E.V., Petrishchev N.N., Galagudza M.M., Vlasov T.D., Nifontov E.M. Kardioproteksiya: fundamental'nye i klinicheskie aspekty [Cardioprotection: fundamental and clinical aspects]. Saint Petersburg, OOO Studiya «NP-Print» [Studio NP-Print Ltd], 2013, pp. 249–255.
57. Shvangiradze T.A., Bondarenko I.Z., Troshina E.A. The role of microRNA in the diagnosis of cardiovascular diseases in obese patients. *Consilium Medicum.* 2021; 23 (4): 358–362. DOI: 10.26442/20751753.2021.4.200827
58. Simionescu N., Niculescu L.S., Carnuta M.G., et al. Hyperglycemia determines increased specific micromas levels in sera and HDL of acute coronary syndrome patients and stimulates micromas production in human macrophages // *PLoS One.* 2016. Vol. 11, №8. P. e0161201. doi: 10.1371/journal.pone.0161201
59. Sinha A., Yadav A.K., Chakraborty S. et al. Exosome enclosed microRNAs in exhaled breath hold potential for biomarker discovery in patients with pulmonary diseases. *J. Allergy Clin. Immunol.* 2013; 132 (1): 219–222
60. Solayman M.H.M., Langae T., Patel A., El-Wakeel L., El-Hamamsy M., Badary O. Identification of suitable endogenous normalizers for qRT-PCR analysis of plasma microRNA expression in essential hypertension. *Mol Biotechnol.* 2016;58:179–187. <https://doi.org/10.1007/s12033-015-9912-z>
61. Sucharov C., Bristow M.R., Port J.D. miRNA expression in the failing human heart: functional correlates. *J Mol Cell Cardiol* 2008;45 (2):185–192. DOI: 10.1016/j.yjmcc.2008.04.0147.
62. Sun X., Zhang M., Sanagawa A., Mori C., Ito S., Iwaki S. et al. Circulating microRNA-126 in patients with coronary artery disease: correlation with LDL cholesterol. *Thrombosis Journal.* 2012;10(1):16. DOI: 10.1186/1477-9560-10-16
63. Takahashi Y., Satoh M., Minami Y., Tabuchi T., Itoh T., Nakamura M. Expression of miR-146a/b is associated with the Toll-like receptor 4 signal in coronary artery disease: effect of renin–angiotensin system blockade and statins on miRNA-146a/b and Toll-like receptor 4 levels. *Clinical Science.* 2010;119(9):395–405. DOI: 10.1042/CS20100003
64. Thum T., Gross C., Fiedler J., Fischer T., Kissler S., Bussen M., Galuppo P., Just S., Rottbauer W., Frantz S., Castoldi M., Soutschek J., Kotliansky V., Rosenwald A., Basson M.A., Licht J.D., Pena J.T., Rouhanifard S.H., Muckenthaler M.U., Tuschl T., Martin G.R., Bauersachs J., Engelhardt S. MicroRNA-21 contributes to myocardial disease by stimulating MAP kinase signalling in fibroblasts. *Nature.* 2008; 456 (7224): 980–984. DOI: 10.1038/nature07511
65. Tijssen A.J., Creemers E.E., Moerland P.D. et al. MiR423-5p as a circulating biomarker for heart failure. *Circ Res.* 2010;106 (6):1035–1039. DOI: 10.1161/CIRCRESAHA.110.218297
66. van Rooij E., Sutherland L.B., Liu N. et al. A signature pattern of stress-responsive microRNAs that can evoke cardiac hypertrophy and heart failure. *Proc Natl Acad Sci USA* 2006;103 (48):18255–18260. DOI:10.1073/pnas.0608791103.
67. Wahlquist C., Jeong D., Rojas-Munoz A., et al. Inhibition of miR25 improves cardiac contractility in the failing heart. *Nature.* 2014, Vol. 508 (7497), pp. 531–535. DOI: 10.1038/nature13073
68. Wang Q., Ma J., Jiang Z.; et al. Identification of microRNAs as diagnostic biomarkers for acute myocardial infarction in Asian populations: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2017, Vol. 96, e7173. DOI: 10.1097/MD.00000000000007173.
69. Wang S-S, Wu L-J, Li J-J-H, Xiao H-B, He Y, Yan Y-X. A meta-analysis of dysregulated miRNAs in coronary heart disease. *Life Sciences.* 2018; 215:170–81. DOI: 10.1016/j.lfs.2018.11.016
70. Weber J. A., Baxter D. H., Zhang S., Huang D. Y., Huang K. H., Lee M. J. et al. The microRNA spectrum in 12 body fluids. *Clin Chem* 2010; 56:1733–1741
71. Widera C., Gupta S.K., Lorenzen J.M., Bang C., Bauersachs J., Bethmann K., Kempf T., Wollert K.C., Thum T. Diagnostic and prognostic impact of six circulating microRNAs in acute coronary syndrome. *J Mol Cell Cardiol.* 2011; 51:872–875. <https://doi.org/10.1016/j.yjmcc.2011.07.011>
72. Zhao Y., Ransom J.F., Li A. et al. Dysregulation of cardiogenesis, cardiac conduction, and cell cycle in mice lacking miRNA-1–2. *Cell* 2007;129 (2):303–317. DOI:10.1016/j.cell.2007.03.030

© Чивиргина Татьяна Вячеславовна (tanushka1096@mail.ru); Чернышева Елена Николаевна (Lena.chernysheva@inbox.ru);

Магомедова Маисат Расуловна (maisa.magomedova.96@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ У ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

A STUDY OF MANDIBULAR DENSITY IN CANCER PATIENTS

**I. Shelegova
N. Nurieva
A. Privalov
D. Vazhenina**

Summary. The aim of the study was to investigate the density of the mandible in cancer patients on CT according to the author's method and to compare the results obtained with the data of other authors. The retrospective cohort study included 45 cancer patients aged 26–81 years (mean age 55 ± 12.88 years). Patients underwent standard PET — CT studies in the «whole body» mode, the density of the mandible in frontal and lateral regions was investigated on CT. **Conclusions.** In women, the mean mandibular density in the frontal region was 660 ± 63.9 HU, in the lateral regions 596 ± 89 HU and 606 ± 95 HU. In males, the mean mandibular density in the anterior region was 659 ± 69 HU, in the lateral regions 581 ± 76 HU and 581 ± 68 HU. The mandibular density measurements obtained corresponded to D3 class and did not differ from those obtained by other investigators using cone beam computed tomography.

Keywords: osteomodifying agents, bisphosphonates, bone metastases, optical density, zoledronic acid, mandible, oncology.

Актуальность

В современной стоматологии широко используется денситометрия при проведении конусно-лучевой компьютерной томографии (КЛКТ), в онкологии прослеживается новая тенденция — исследование плотности челюстей при помощи ПЭТ-КТ. Мы проанализировали отечественные и зарубежные источники литературы, посвященные исследованию плотности органов челюстно-лицевой области на ПЭТ и КЛКТ, по ключевым словам, в электронных библиотеках «Elibrary»

Шелегова Ирина Георгиевна

Аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России
irina-stomat@rambler.ru

Нуриева Наталья Сергеевна

доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Минздрава России
irina-stomat@rambler.ru

Привалов Алексей Валерьевич

доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Минздрава России

Важенина Дарья Андреевна

главный научный сотрудник, ФГБУ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Минздрава России
доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Минздрава России

Аннотация. Цель исследования — исследовать плотность нижней челюсти у онкологических пациентов на КТ по авторскому способу и сравнить полученные результаты с данными других авторов. В ретроспективное когортное исследование вошли 45 пациентов с онкологическим заболеванием в возрасте 26–81 лет (средний возраст $55 \pm 12,88$ года). Пациентам проводилось стандартное ПЭТ — КТ исследования в режиме «все тело», на КТ исследовалась плотность нижней челюсти во фронтальном и боковых отделах. **Выводы.** У женщин средняя плотность нижней челюсти во фронтальном отделе составила $660 \pm 63,9$ HU, в боковых отделах 596 ± 89 HU и 606 ± 95 HU. У мужчин средняя плотность нижней челюсти во фронтальном отделе составила 659 ± 69 HU, в боковых отделах 581 ± 76 HU и 581 ± 68 HU. Полученные измерения плотности нижней челюсти соответствовали D3 классу и не отличались от показателей, полученных другими исследователями при помощи конусно-лучевой компьютерной томографии.

Ключевые слова: остеомодифицирующие агенты, бифосфонаты, костные метастазы, оптическая плотность, золендроновая кислота, нижняя челюсть, онкология.

и «Pubmed». Следует отметить, что актуальными являются в настоящее время исследования плотности челюстей при заболеваниях пародонта и периапикальных воспалительных процессах, а также исследования плотности кости при медикаментозном остеонекрозе челюстей.

Общепринятой является классификация плотности костной ткани челюстей по Misch. Так, челюстная кость с оптической плотностью более 1250 HU — относится к D1 классу, 850–1250 HU — D2 класс, 350–850 — D3 класс, менее 350 — D4 класс [1].

Плотность костной ткани различна в 4 областях верхней и нижней челюсти. В переднем отделе НЧ средняя плотность костной ткани составляла $944,9 \pm 207$ единиц Хаунсфилда (НУ), в переднем отделе ВЧ — $715,8 \pm 190$ НУ, в дистальном отделе НЧ — $674,3 \pm 227$ НУ, в дистальном отделе ВЧ — $455,1 \pm 122$ НУ [2]. Наибольшая плотность кости 559 ± 208 НУ установлена в переднем отделе НЧ, в переднем отделе ВЧ 517 ± 177 НУ и в дистальных участках НЧ 333 ± 199 НУ [3]. В исследовании плотности челюстей при дентальной имплантации были получены средние значения $563-662$ НУ, наиболее часто встречался D1 и D2 типы костной ткани. Плотность костных тканей, окружающих имплантаты, находится в диапазоне от 2624 НУ до 67 НУ [4]. Среднее значение плотности в области жевательной группы зубов верхней челюсти составляет $1536,0 \pm 97,9$ у. е., нижней челюсти — $1673,0 \pm 102,7$ у. е. [5].

При заболеваниях пародонта уменьшается плотность костной ткани альвеолярных отростков челюстей с устойчивой зависимостью от тяжести заболевания [6]. Плотность костной ткани у пациентов с деструктивными процессами в челюстно-лицевой области достоверно ниже по сравнению с показателями плотности костной ткани лиц без патологии [7]. В очагах деструкции при хроническом апикальном периодонтите отмечено значительное снижение плотности в среднем на $65,8$ у. е. в области фронтальных зубов и на $62,5$ у. е. в области жевательной группы по сравнению с нормой [8]. При хроническом периодонтите плотность в очаге деструкции снижается более чем в два раза [9]. Значения оптической плотности зависят от степени тяжести периапикального деструктивного процесса [10]. Наблюдается снижение оптической плотности в области разреженной костной ткани альвеолярного отростка при наличии хронических одонтогенных очагов инфекции. Денситометрия альвеолярного отростка рассматривается в качестве составляющей комплексной оценки степени резорбции костной ткани [11].

Научным коллективом Н.Г. Виноградовой исследовалась плотность костной ткани при медикаментозном остеонекрозе челюстей. Типы кости D3, D4, D5 у пациентов, получающих терапию остеомодифицирующими агентами, более подвержены риску развития МОНЧ по сравнению с типами кости D1 и D2. При типе кости D3 в центральном отделе нижней челюсти средний показатель был равен $571,25 \pm 90,64$ НУ, в области угла нижней челюсти $509,94 \pm 118,6$ НУ [12].

Зарубежные исследователи изучали особенности визуализации остеомиелита челюсти с использованием ПЭТ-КТ с ^{18}F фторидом и ^{18}F -ФДГ. У пациентов был выявлен трабекулярный склероз в пораженной кости челюсти по сравнению со здоровой челюстью (560 ± 328 НУ против 282 ± 211 НУ) [13]. Однако также отмечается,

что текущие методы оценки МОНЧ не имеют количественного согласования с течением заболевания и отсутствуют «конечные точки» МОНЧ в измерении костей [14]. Новой тенденцией в диагностике МОНЧ является использование ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ и ПЭТ-КТ с F-фторидом [15]. ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ можно использовать для мониторинга эффективности лечения МОНЧ [16].

Материалы и методы

В ретроспективное исследование были включены 45 пациентов с онкологическим заболеванием в возрасте 26–81 лет (средний возраст $55 \pm 12,8$ лет). Состав по полу: 36 женщин (средний возраст $55 \pm 12,9$ лет) и 9 мужчин (средний возраст $54,5 \pm 13,5$ лет). Набор пациентов проводился на базе «Челябинского областного клинического центра онкологии и ядерной медицины». Срок проведения исследования: с сентября 2019 года по сентябрь 2023 года. Информация о диагнозах была получена из медицинских карт пациентов. Локализация злокачественного новообразования у исследуемых пациентов представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Локализация злокачественного новообразования у исследуемых пациентов

Диагноз	Частота, n	Валидный процент, %
Рак молочной железы	14	31,1
Рак матки	12	26,6
Лимфома	5	11,1
Рак яичников	4	8,9
Рак почки	2	4,4
Меланома	2	4,4
Рак легкого	2	4,4
Рак предстательной железы	1	2,2
Рак ротоглотки	1	2,2
Липосаркома	1	2,2
Хондросаркома	1	2,2

Распределение пациентов по стадиям онкологического заболевания: стадия I установлена у 4 пациентов, стадия II — у 7 пациентов, стадия III — у 16 пациентов, стадия IV — у 16 пациентов, стадия Tx — у 2 пациентов.

Всем пациентам был проведен стоматологический осмотр с определением интенсивности кариозного поражения (индекса КПУ без учета коронок) и потери жевательной эффективности (по Агапову). Также всем пациентам было проведено стандартное ПЭТ — КТ исследование на аппарате Siemens Biograph 40/64 в режиме «Whole Body» с радиофармпрепаратами ^{18}F — ФДГ (44 пациента) и Na-F (1 пациент). Толщина среза составляла 2 мм. Согласно авторскому способу (патент RU

№ 2808009), на КТ измерялась плотность нижней челюсти на аксиальном срезе в 3 участках: в боковых участках в проекции премоляров (III и IV сегменты) и во фронтальном отделе в проекции срединной линии (рисунок 1). Исковая плоскость измерений находилась на 2–3 мм выше верхнего края ментального отверстия, диаметр участков измерения составлял 2,5–3,5 мм [17].

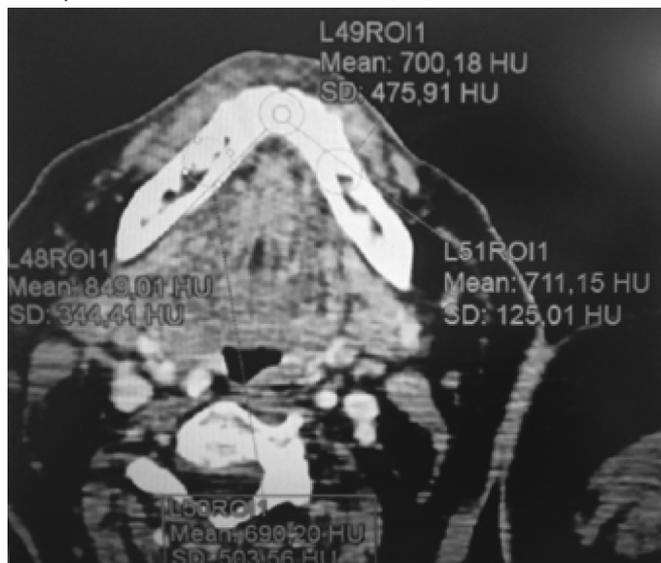


Рис. 1. Измерение плотности нижней челюсти на КТ во фронтальном и боковых отделах

Для обработки результатов исследования использовался статпакет «IBM SPSS Statistic 23».

Результаты исследования

У исследуемых пациентов средний индекс КПУ (без учета коронок) составил 15,75 (SD=6,74); потеря жевательной эффективности (по Агапову) составляла, в среднем, 48,66 %.

Результаты измерения плотности челюсти во фронтальном и боковых отделах нижней челюсти у мужчин и женщин представлены в таблице 2 и 3.

Средние значения плотности нижней челюсти во фронтальном отделе, III и IV сегментах для возрастных групп 18–40 лет (n=8), 41–60 лет (n=19) и 61–81 (n=18) лет представлены на рисунке 3.

В таблице 4 представлены показатели плотности нижней челюсти у пациентов с раком молочной железы (n=14), раком матки (n=12), лимфомой (n=5) и раком яичников (n=4).

Выводы

У женщин средняя плотность нижней челюсти во фронтальном отделе составила $660 \pm 63,9$ HU, в боковых отделах 596 ± 89 HU и 606 ± 95 HU. У мужчин средняя плотность нижней челюсти во фронтальном отделе составила 659 ± 69 HU, в боковых отделах 581 ± 76 HU и 581 ± 68 HU. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными данными денситометрического исследования пациентов с помощью КЛКТ [2,3,4,12]. При сравнении

Таблица 2.

Средние значения, среднеквадратические отклонения и 95 % доверительный интервал для среднего значения плотности нижней челюсти у мужчин (в условных единицах Хаунсфилда)

Область измерения плотности нижней челюсти	МУЖЧИНЫ			
	Среднее арифметическое, M	Среднеквадратическое отклонение, SD	95 % Доверительный интервал для среднего	
			Нижняя граница	Верхняя граница
Фронтальный отдел	659,14	68,95	606,14	712,15
III сегмент	581,79	76,09	523,30	640,28
IV сегмент	581,16	68,12	528,79	633,52

Таблица 3.

Средние значения, среднеквадратические отклонения и 95% доверительный интервал для среднего значения плотности нижней челюсти у женщин (в условных единицах Хаунсфилда)

Область измерения	ЖЕНЩИНЫ			
	Среднее арифметическое, M	Среднеквадратическое отклонение, SD	95 % Доверительный интервал для среднего	
			Нижняя граница	Верхняя граница
Оптическая плотность во фронтальном отделе	660,5600	63,94589	638,9238	682,1962
Оптическая плотность в III сегменте	596,8719	88,99955	566,7588	626,9851
Оптическая плотность в IV сегменте	606,9297	95,28933	574,6885	639,1710

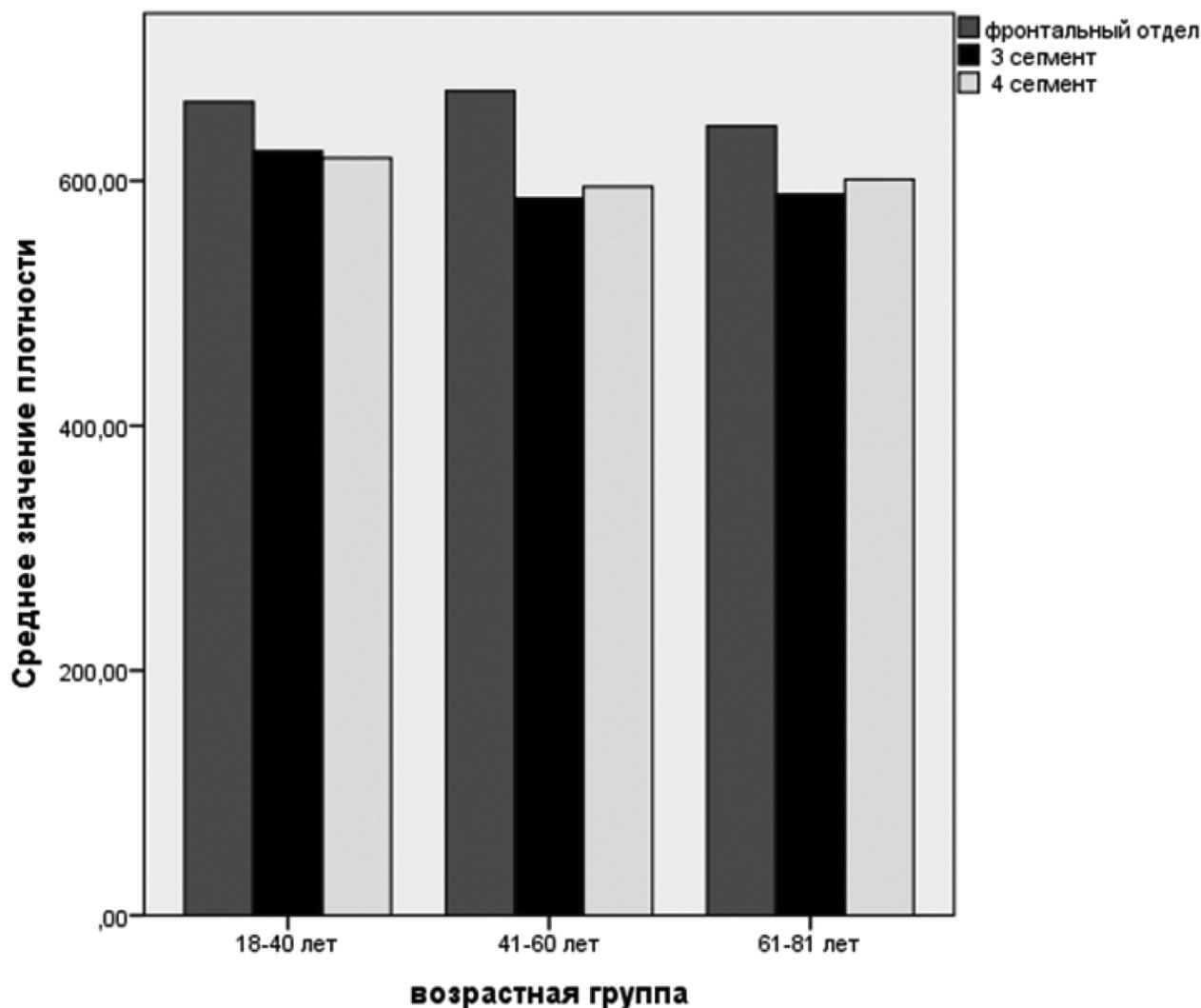


Рис. 2. Средние значения плотности нижней челюсти в различных возрастных группах (в условных единицах Хаунсфилда)

Таблица 4.
Показатели плотности нижней челюсти в зависимости от диагноза (в условных единицах Хаунсфилда)

Диагноз	Плотность во фронтальном отделе, М (SD)	Плотность в III сегменте, М (SD)	Плотность в IV сегменте, М (SD)
Рак молочной железы	613,3 (65,46)	552,7 (38,3)	580,5 (54,8)
Рак матки	658,1 (75,7)	588,3 (77,1)	587,7 (105,1)
Лимфома	648,3 (109,5)	565,7 (160,3)	556 (146,9)
Рак яичников	664 (32,6)	610,2 (30,6)	640,8 (40,3)

с результатами ранее проведенного нами исследования не выявлено возрастных различий плотности нижней челюсти, что вероятно, связано с влиянием противоопухолевой терапии [18]. Не наблюдалось различий в средних значениях плотности нижней челюсти в зависимости от локализации онкологического заболевания, у всех пациентов выявлен D3 класс плотности костной ткани. Предложенный способ топографии участков нижней челюсти для измерения оптической плотности кортикального и трабекулярного вещества на сканах позитронно-эмиссионной томографии может быть рекомендован для измерения плотности нижней челюсти у онкологических пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Misch C.E., Degidi M. Five-year prospective study of immediate/early loading of fixed prostheses in completely edentulous jaws with a bone quality-based implant system // *Clinical implant dentistry and related research*. — 2003. — Vol. 5, № 1. — P.17–28.
2. Винниченко О.Ю. Методы оценки плотности костной ткани альвеолярного отростка челюстей и ее значение для увеличения срока функционирования протезной конструкции // *Стоматология*. — 2016. — Т. 95, № 4. — С. 83–86.
3. Shapurian T., Damoulis P.D., Reiser W.M. [et al.] Quantitative evaluation of bone density using the Hounsfield index // *The international journal of oral & maxillofacial implants*. — 2006. — Vol. 21, № 2. — P. 290–297.
4. Яблоков А.Е. Оценка оптической плотности костной ткани при дентальной имплантации // *Российская стоматология*. — 2019.—№12(3). — С.8–13.
5. Юсупова А.Ф., Герасимова Л.П., Усманова И.Н., Сорокин А.П. Сравнительная характеристика показателей нормы оптической плотности костной ткани в периапикальной области у лиц молодого возраста // *Эндодонтия Today*. — 2018. — Т.16, №3. — С. 35–38.
6. Бондаренко Н.Н., Балахонцева Е.В. Измерение оптической плотности костной ткани альвеолярного отростка челюстей при заболеваниях пародонта с помощью трехмерной компьютерной томографии // *Казанский медицинский журнал*. — 2012. — №4. — С. 660–661.
7. Николаюк В.И., Кабанова А.А., Карпенко Е.А. Денситометрия в диагностике патологии челюстно-лицевой области // *Вестник ВГМУ*. — 2015. — Т. 14, № 5. — С. 114–120.
8. Когина Э.Н., Герасимова Л.П., Кабирова М.Ф., Саптарова Л.М. Применение метода оптической денситометрии в диагностике хронического апикального периодонтита // *Здоровье и образование в 21 веке*. — 2016.— №11(18). — С.36-39.
9. Сорокин А.П., Герасимова Л.П. Возможность оптической денситометрии при динамическом наблюдении больных с деструктивными формами хронического периодонтита // *Медицинский вестник Башкортостана*. — 2013. — Т. 8, № 1. — С. 64–66.
10. Угланов Ж.Ш., Жолдыбаев С.С., Мусаев А.Т. [и др.] Роль денситометрических исследований у больных с деструктивными процессами периапикальных тканей // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. — 2016. — № 4–4. — С. 716–720.
11. Лебедянцева В.В., Шевлюк Н.Н., Лебедянцева Т.В., Ханов И.А. Морфофункциональная характеристика костной ткани альвеолярных отростков (частей) в условиях хронической одонтогенной инфекции // *Журнал анатомии и гистопатологии*. — 2018. — Т.7, № 2. — С. 39–43.
12. Виноградова Н., Соломатина Л., Харитоновна М., Львов К., Борзунов Д. Оптическая плотность кости как прогностический фактор риска развития медикаментозно ассоциированного остеонекроза челюсти у пациентов с костными метастазами// *Гений ортопедии*. — 2020. — Т.4, № 26. — С.539–543.
13. Reinert C.P., Pfannenberг C., Dittmann H., Gückel B. [et al.] [18F] fluoride positron-emission tomography (PET) and [18F] FDG PET for assessment of osteomyelitis of the jaw in comparison to computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI): a prospective PET/CT and PET/MRI pilot study// *Journal of clinical medicine*. — 2022. — Vol. 11, № 14. — P.3998.
14. Gaudet C., Odet S., Meyer C. [et al.] Reporting criteria for clinical trials on medication-related osteonecrosis of the jaw (MRONJ): a review and recommendations // *Cells*. — 2022. — Vol. 11, № 24. — P. 4097.
15. Reinert C.P., Pfannenberг C., Gatidis S. [et al.] 18F-fluoride PET/CT imaging of medication-related osteonecrosis of the jaw in conservative treatment—a case report // *Frontiers in oncology*. — 2021. — Vol.11. — P. 700397.
16. Kitagawa Y., Ohga N., Asaka T. [et al.] Imaging modalities for drug-related osteonecrosis of the jaw (3), Positron emission tomography imaging for the diagnosis of medication-related osteonecrosis of the jaw // *The Japanese dental science review*. — 2019. — Vol. 55, № 1. — P. 65–70.
17. Патент № 2808009 Российская Федерация. Способ топографии участков нижней челюсти для измерения оптической плотности кортикального и трабекулярного вещества на сканах позитронно-эмиссионной томографии: № 2023106556: заявл. 21.03.2023: опубл. 21.11.2023 / Шелегова И.Г., Нуриева Н.С.; патентообладатель ФГБОУ ВО ЮГМУ Минздрава России.
18. Нуриева Н.С., Шелегова И.Г., Важенина Д.А. Оценка качества кости во фронтальном отделе нижней челюсти у пациентов женского пола различных возрастов с помощью конусно-лучевой компьютерной томографии // *Проблемы стоматологии*. — 2020. — Т. 16, № 3. — С. 83–89.

© Шелегова Ирина Георгиевна (irina-stomat@rambler.ru); Нуриева Наталья Сергеевна (irina-stomat@rambler.ru); Привалов Алексей Валерьевич; Важенина Дарья Андреевна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛА И ВОЗРАСТА НА ПЛОТНОСТЬ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ У ОНКОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ

A STUDY OF THE EFFECT OF GENDER AND AGE ON MANDIBULAR DENSITY IN CANCER PATIENTS

**I. Shelegova
N. Nurieva
D. Vazhenina
A. Privalov**

Summary. Subject. The aim of the study was to investigate the effect of gender and age on mandibular density in cancer patients. A retrospective cohort study included 45 cancer patients aged 26–81 years (mean age 55 ± 12.88 years). Patients underwent standard PET — CT study in whole-body mode, and mandibular density was examined on CT. Multivariate analysis of variance was used to study the effect of sex and age on mandibular density. There was no statistically significant effect of gender ($p=0,873$) and age ($p=0,098$) on mandibular density scores in cancer patients. We attribute these results to the fact that, probably, the influence of gender and age on jaw density is leveled off under the influence of cancer and the treatment performed.

Keywords: osteomodifying agents, bone metastases, optical density, zoledronic acid, mandible, oncology.

Шелегова Ирина Георгиевна

аспирант, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России
irina-stomat@rambler.ru

Нуриева Наталья Сергеевна

доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Минздрава России
irina-stomat@rambler.ru

Важенина Дарья Андреевна

главный научный сотрудник, ФГБУ Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Минздрава России
доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Минздрава России

Привалов Алексей Валерьевич

доктор медицинских наук, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет»
Минздрава России

Аннотация. Цель исследования — изучить влияние пола и возраста на плотность нижней челюсти у онкологических пациентов. В ретроспективное когортное исследование вошли 45 пациентов с онкологическим заболеванием в возрасте 26–81 лет (средний возраст $55 \pm 12,88$ года). Пациентам дважды проводилось стандартное ПЭТ — КТ исследования в режиме «все тело», на КТ исследовалась плотность нижней челюсти в динамике. С помощью многомерного дисперсионного анализа с повторными измерениями изучалось влияние пола и возраста на плотность нижней челюсти. Не было выявлено статистически значимого влияния пола ($p=0,873$) и возраста ($p=0,098$) на показатели плотности нижней челюсти у онкологических пациентов. Полученные результаты мы связываем с тем, что, вероятно, под влиянием онкологического заболевания и проводимого лечения нивелируется влияние пола и возраста на плотность челюстей.

Ключевые слова: остеомодифицирующие агенты, костные метастазы, оптическая плотность, золендроновая кислота, нижняя челюсть, онкология.

Актуальность

В стоматологии плотность костной ткани челюстей является важным диагностическим и прогностическим критерием при лечении периапикальных воспалительных процессов и заболеваний пародонта, при планировании имплантации и ортодонтического лечения [1–6]. Известно, что плотность костной ткани снижается при заболеваниях пародонта [1,6]. При лечении периапикальных воспалительных процессов измерение плотности костной ткани может использоваться для динамического наблюдения за очагом воспаления и позво-

ляет оценить эффективность проведенного лечения [2]. Плотность костей человека обусловлена множеством факторов, в том числе полом и возрастом. Исследователи едины во мнении, что наибольшая плотность челюстей наблюдается на пике костной массы. Уровни достижения пика костной массы различны: у мужчин выше, чем у женщин, в связи с поздним наступлением пубертатного периода [7, 8]. Со снижением гормональной функции у женщин 36–60 лет снижается минеральная плотность костной ткани, однако плотность костной ткани челюстей у мужчин и у женщин в группах 17–21 года и 22–35 лет статистически достоверно не отличается [9].

Дефицит эстрогенов ускоряет потерю костной массы [7]. У женщин в возрасте 20–30 лет при сохраненном менструальном цикле наблюдается максимальная продукция эстрадиола и прогестерона, и именно к концу этого периода происходит максимальное накопление костной массы. В дальнейшем в различных отделах скелета влияние пиковой костной массы и возрастной потери кости различно [8]. У мужчин выше показатель оптической плотности костной ткани челюсти в области клыков, премоляров и моляров по сравнению с женщинами [10]. При этом у мужчин вопрос о характере влияния андрогенов на минеральную плотность кости окончательно не решен [7]. У онкологических пациентов влияние на плотность костной ткани в целом оказывает и проводимое лечение. Лучевая терапия влияет на формирование остеокластов через воздействие на пролиферацию клеток-предшественников [11]. Противоопухолевая терапия (эндокринная терапия, химиотерапевтическое лечение и хирургическая кастрация) приводит к снижению уровня половых гормонов — эстрогенов [12,13]. Остеопороз на фоне антиэстрогенной и антиандрогенной терапии является серьезным нежелательным явлением, в связи с этим назначение золендроновой кислоты позволяет уменьшить потерю костной ткани на фоне антиэстрогенной и антиандрогенной терапии [12]. Остеомодифицирующие агенты повышают плотность костей [14]. Однако в процессе терапии остеомодифицирующими агентами может развиваться осложнение — медикаментозный остеонекроз челюстей (МОНЧ) [15]. Отечественные ученые изучают динамику плотности костной ткани с целью ранней диагностики МОНЧ у онкологических пациентов [16]. Мы провели поиск исследований, посвященных изучению гендерных и возрастных различий плотности челюстных костей, однако не нашли подобных исследований в отношении пациентов с онкологическими заболеваниями. Исследование факторов, оказывающих влияние на плотность челюстей у пациентов с онкологическим заболеванием, является актуальным.

Цель данного исследования — изучить влияние пола и возраста на плотность нижней челюсти у онкологических пациентов.

Материалы и методы

В ретроспективное исследование были включены 45 пациентов с онкологическим заболеванием в возрасте 26–81 лет (средний возраст $55 \pm 12,8$ лет). Состав по полу: 36 женщин (средний возраст $55 \pm 12,9$ лет) и 9 мужчин (средний возраст $54,5 \pm 13,5$ лет). Набор пациентов проводился на базе «Челябинского областного клинического центра онкологии и ядерной медицины». Срок проведения исследования: с сентября 2019 года по сентябрь 2023 года. Информация о диагнозах и лечении была получена из медицинских карт пациентов. Локализация злокачественного новообразования у исследуемых

пациентов: рак молочной железы — 31,1 % (n=14), рак матки — 26,6 % (n=12), лимфома — 11,1 % (n=5), рак яичников — 8,9 % (n=4), рак почки — 4,4 % (n=2), меланома — 4,4 % (n=2), рак легкого — 4,4 % (n=2), рак предстательной железы — 2,2 % (n=1), рак ротоглотки — 2,2 % (n=1), липосаркома — 2,2 % (n=1), хондросаркома — 2,2 % (n=1). В зависимости от диагноза 41 пациенту проводилась терапия в различных сочетаниях: химиотерапия (n=18), гормональная (n=16), поддерживающая терапия золендроновой кислотой (n=14), таргетная (n=13), лучевая (n=11). Под динамическим наблюдением без активного лечения находились 3 пациента, 1 пациент отказался от терапии. Из лучевых методов лечения пациентам проводилась: внутрисполостная лучевая терапия, введение стронция-89 — хлорида, дистанционная лучевая терапия с радиомодификацией цисплатином. Перечень препаратов, назначенных исследуемым пациентам: гормональная терапия — фарестон, фазлодекс, анастрозол, торамифен, тамоксифен; поддерживающая — золендроновая кислота; таргетная — ритуксимаб, бевацизумаб, ниволумаб, дабрафениб, меникист; химиотерапия — гемцитабин, карбоплатин, цисплатин, иринотекан, доцетаксел, оксалиплатин, доксорубицин. В процессе терапии онкологического заболевания пациентам дважды было проведено стандартное ПЭТ — КТ исследование на аппарате SIEMENS Biograph 40/64 в режиме «Whole Body» с радиофармпрепаратами ^{18}F — ФДГ (44 пациента) и Na-F (1 пациент). Толщина среза составляла 2 мм. Временной интервал между ПЭТ-КТ исследованиями составлял от 3 до 30 месяцев (в среднем 8,7 месяцев). На ПЭТ-КТ в динамике измерялась плотность нижней челюсти на аксиальном срезе в 3 участках: в боковых участках в проекции премоляров (III и IV сегменты) и во фронтальном отделе в проекции срединной линии. Искомая плоскость измерений находилась на 2–3 мм выше верхнего края ментального отверстия, диаметр участков измерения составлял 2,5–3,5 мм. Были получены значения плотности в виде среднего арифметического значения и стандартного отклонения в единицах Хаунсфилда (HU). На рисунке 1 отмечен участок измерения во фронтальном отделе нижней челюсти по предложенному способу, среднее значение плотности в данном участке составило $711,15 \pm 125$ HU.

Критерии включения в исследование: возраст от 18 лет, наличие информированного согласия на участие в исследовании, наличие онкологического заболевания, наличие ПЭТ — КТ исследования в базе данных. Критерии исключения: отсутствие информированного согласия, метастазирование в челюстные кости, онкологические заболевания челюстных костей, лучевой либо медикаментозный остеонекроз челюстей, недостаточно подробная информация о проводимом лечении в медицинской карте, наличие зубных имплантатов. Статистическая программа «IBM SPSS Statistic 23» использовалась для обработки результатов исследования. Значения

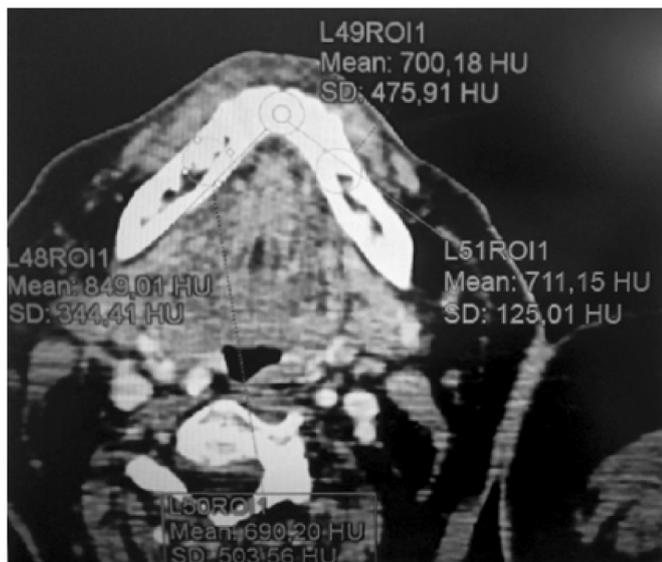


Рис. 1. Измерение плотности нижней челюсти на КТ во фронтальном и боковых отделах

стандартного отклонения учитывались при расчете коэффициента вариации по выборке, в нашем исследовании значение коэффициента вариации по выборке было меньше единицы, поэтому проводилось исследование распределения на нормальность.

Результаты исследования

С помощью многомерного дисперсионного анализа с повторными измерениями изучалось влияние пола и возраста на плотность нижней челюсти. Пол был включен в дисперсионный анализ в качестве фактора, воз-

раст являлся ковариатой, плотность челюсти была зависимой переменной. Следует отметить, что виды терапии также были включены в дисперсионный анализ в качестве факторов. Все условия применения дисперсионного анализа были соблюдены.

Результаты первоначального измерения плотности челюсти во фронтальном и боковых отделах нижней челюсти у мужчин и женщин представлены в таблице 1 и 2.

Результаты теста Пиллаи для переменных «пол» и «возраст», «виды терапии» приведены в таблице 3.

По результатам теста Пиллаи принимается нулевая гипотеза о том, что не наблюдается различий ни для одной из зависимых переменных для факторов: «пол» ($p=0,873$; $p > 0,05$), «возраст» ($p=0,098$; $p > 0,05$), «химиотерапия» ($p=0,244$; $p > 0,05$), «таргетная терапия» ($p=0,301$; $p > 0,05$), «лучевая терапия» ($p=0,551$; $p > 0,05$), «гормональная терапия» ($p=0,304$; $p > 0,05$). По результатам теста Пиллаи отвергается нулевая гипотеза о том, что не наблюдается различий ни для одной из зависимых переменных для факторов «терапия золендроновой кислотой» ($p=0,0001$; $p \leq 0,05$).

Таким образом, не выявлено статистически значимого влияния пола и возраста на плотность нижней челюсти у онкологических пациентов.

Выводы

В данном исследовании не выявлено статистически значимого влияния пола ($p=0,873$; $p > 0,05$) и возраста

Таблица 1.

Средние значения, среднеквадратические отклонения и 95 % доверительный интервал для среднего значения плотности нижней челюсти у мужчин (в условных единицах Хаунсфилда)

Область измерения плотности нижней челюсти	МУЖЧИНЫ			
	Среднее арифметическое, М	Среднеквадратическое отклонение, SD	95 % Доверительный интервал для среднего	
			Нижняя граница	Верхняя граница
Фронтальный отдел	659,14	68,95	606,14	712,15
III сегмент	581,79	76,09	523,30	640,28
IV сегмент	581,16	68,12	528,79	633,52

Таблица 2.

Средние значения, среднеквадратические отклонения и 95 % доверительный интервал для среднего значения плотности нижней челюсти у женщин (в условных единицах Хаунсфилда)

Область измерения плотности нижней челюсти	ЖЕНЩИНЫ			
	Среднее арифметическое, М	Среднеквадратическое отклонение, SD	95 % Доверительный интервал для среднего	
			Нижняя граница	Верхняя граница
Фронтальный отдел	660,5600	63,94589	638,9238	682,1962
III сегмент	596,8719	88,99955	566,7588	626,9851
IV сегмент	606,9297	95,28933	574,6885	639,1710

Тест Пиллаи

Эффект	Значение	F	Гипотеза, df	Ошибка, df	p	
Возраст	След Пиллаи	0,098	2,929	1	27	0,098
Пол	След Пиллаи	0,001	0,026	1	27	0,873
Химиотерапия	След Пиллаи	0,050	1,416	1	27	0,244
Таргетная терапия	След Пиллаи	0,040	1,113	1	27	0,301
Лучевая терапия	След Пиллаи	0,013	0,366	1	27	0,551
Гормональная терапия	След Пиллаи	0,039	1,100	1	27	0,304
Терапия золендроновой кислотой	След Пиллаи	0,377	16,369	1	27	0,000

($p=0,098$; $p > 0,05$) на плотность нижней челюсти у пациентов с онкологическим заболеванием. Полученные результаты мы объясняем тем, что, вероятно, под влиянием онкологического заболевания и проводимого лечения нивелируется влияние пола и возраста на плот-

ность челюстей. Дальнейшее изучение влияния факторов на плотность челюстей у онкологических пациентов является перспективным с точки зрения профилактики осложнений, в частности, медикаментозного остеонекроза челюстей.

ЛИТЕРАТУРА

- Бондаренко Н.Н. Измерение оптической плотности костной ткани альвеолярного отростка челюстей при заболеваниях пародонта с помощью трехмерной компьютерной томографии / Н.Н. Бондаренко, Е.В. Балахонцева // Казанский медицинский журнал. — 2012. — №4. — С. 660–661.
- Когина Э.Н., Герасимова Л.П., Кабирова М.Ф., Саптарова Л.М. Применение метода оптической денситометрии в диагностике хронического апикального периодонтита // Здоровье и образование в 21 веке. — 2016. — №11(18). — С.36–39.
- Писаревский И.Ю., Бородулина И.И., Писаревский Ю.Л., Сарафанова А.Б. Клиническое значение уровней минеральной плотности челюстных костей при планировании дентальной имплантации // Дальневосточный медицинский журнал. — 2012. — №3. — С.54–56.
- Яблоков А.Е. Оценка оптической плотности костной ткани при дентальной имплантации // Российская стоматология. — 2019. — №12(3). — С. 8–13.
- Писаревский Ю.Л., Писаревский И.Ю., Намханов В.В., Плеханов А.Н. Состояние минеральной плотности костной ткани при дисфункции височно-нижнечелюстного сустава // Вестник Бурятского государственного университета. — 2015. — №2. — С.71–76.
- Ронь Г.И., Еловицова Т.М., Уварова Л.В., Чибисова М.А.. Денситометрия (денситометрия) на конусно-лучевом компьютерном томографе в динамическом наблюдении пациентов с заболеваниями пародонта как инструмент выявления минеральной плотности костной ткани. // Институт стоматологии. — 2015. — №1(66). — С.40–43.
- Максюков С.Ю., Гаджиева Д.Н., Шахбазов О.И., Беликова Е.С. Возрастные и гендерные аспекты изменения минеральной плотности опорно-двигательного аппарата, зубов и пародонта // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 5–1. — С. 74–79.
- Шалина М.А., Ярмолинская М.И., Абашова Е.И. Влияние гормональной терапии на костную ткань: мифы и реальность. — 2018. — Т. 67. — № 3. — С. 83–94.
- Николаюк, В.И. Денситометрия в диагностике патологии челюстно-лицевой области / В.И. Николаюк, А.А. Кабанова, Е.А. Карпенко // Вестник ВГМУ. — 2015. — Т. 14, № 5. — С. 114–120.
- Парфенюк Г.В., Лепилин А.В., Парфенюк И.В., Башков В.А. Гендерные вариации оптической плотности костной ткани и типы кости в местах реципиентов дентальных имплантатов в зависимости от соматической патологии, приведшей к ХБП, на разных стадиях заболевания, по данным конусно-лучевой компьютерной томографии // Вестник новых медицинских технологий. — 2024. — №1. — С. 24–32.
- Бычкова Н.М., Хмелевский Е.В. Современные подходы к лучевой терапии метастатических поражений скелета // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. — 2019. — №8(4). — С.295–302.
- Снеговой А.В. Проблема остеопороза на фоне антиэстрогенной и антиандрогенной терапии // Практическая онкология. — 2011. — №12(3). — С.136–145.
- Третьякова Н.Ю., Котляров Е.В. Остеопороз у больных раком молочной железы // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. — 2016. — №5(4). — С.26–29.
- Эбзеев А.К. Бисфосфонатный остеонекроз челюстей у онкологических пациентов // Казанский медицинский журнал. — 2020. — №101(2). — С.226–231.
- Согачева В.В., Семкин В.А. Бисфосфонатные остеонекрозы челюстей // Стоматология. — 2022. — №101(6). — С.85–90.
- Виноградова Н., Соломатина Л., Харитоновна М., Львов К., Борзунов Д. Оптическая плотность кости как прогностический фактор риска развития медикаментозно ассоциированного остеонекроза челюсти у пациентов с костными метастазами // Гений ортопедии. — 2020. — №26(4). — С.539–543.

© Шелегова Ирина Георгиевна (irina-stomat@rambler.ru); Нуриева Наталья Сергеевна (irina-stomat@rambler.ru);
Важенина Дарья Андреевна; Привалов Алексей Валерьевич
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЗНАЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСТРУКТУРЫ ПЕРИТУМОРОЗНОЙ ЗОНЫ (PTZ) ЦЕРЕБРАЛЬНЫХ МЕТАСТАЗОВ В ИХ КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ

THE SIGNIFICANCE OF THE MICROSTRUCTURE CHARACTERISTICS OF THE CEREBRAL METASTASES' PERITUMORAL ZONE (PTZ) IN THEIR COMPLEX TREATMENT

A. Shchavinskaya

Summary. The metastatic cascade is a complex dynamic process of secondary tumor formation, at each stage of which many mechanisms are involved. Most often in clinical practice, specialists must work on the second stage of metastasis, when metastatic cells have already colonized the brain, and the tumor focus is diagnosed using instrumental research methods. The area surrounding the tumor is a zone of surgical and therapeutic action to restrain the growth of the tumor focus.

Keywords: metastatic cascade, mechanotransduction, blood–brain barrier (BBB), CNC-cancer crosstalk, metabolic reprogramming, immune-checkpoint inhibitor (ICIs), M1- and M2-microglia.

Щавинская Ася Валерьевна

врач-нейрохирург, Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр им. Н.Н. Бурденко»
asyashavinskaya@gmail.com

Аннотация. Метастатический каскад — сложный динамический процесс образования вторичной опухоли, на каждом этапе которого задействованы множество механизмов. Чаще всего в клинической практике специалистам приходится воздействовать на второй этап метастазирования, когда метастатические клетки уже колонизировали головной мозг, а опухолевый очаг диагностируется с помощью инструментальных методов исследования. Область, окружающая опухоль, является зоной хирургического и терапевтического воздействия для сдерживания роста опухолевого очага.

Ключевые слова: метастатический каскад, механотрансдукция, гемато-опухолевый барьер (ГОб), CNC-cancer crosstalk, метаболическое перепрограммирование, ингибиторы контрольных точек (ICIs), M1- и M2-микроглия.

Введение

Метастазы в головной мозг на определенном этапе заболевания развиваются у 30–40 % онкологических пациентов [17]. В настоящее время ни одна из опций в лечении церебральных метастазов не достигла удовлетворительной эффективности при контролируемых побочных эффектах, и показатели пятилетней выживаемости остаются низкими [4]. Средняя продолжительность жизни после обнаружения метастазов в головном мозге составляет около 4–6 мес. [6]. Метастатические клетки обладают свойствами, позволяющими им преодолевать гематоэнцефалический барьер (ГЭБ), избегать воздействия иммунной системы и выживать в уникальной микросреде головного мозга. Метастатическая колонизация осуществляется посредством сложной и динамичной коммуникации между метастатическими клетками и окружающей средой, что приводит к созданию благоприятных для опухоли условий [1]. Характеристики микросреды при этом также могут меняться с течением времени, способствуя дальнейшей адаптации опухоли и прогрессированию заболевания. В перепрограммировании фенотипов клеток раковой опухоли задействованы как генетические, так и эпигенетические процессы, изменяющие под влиянием сигналов окружения экспрессию и активность генов в клетках

[16]. Использование слабых мест, а также воздействие на физические и иммунные компоненты перитуморального микроокружения — это новая стратегия разработки эффективных методов лечения [3].

Методы

Представленная статья является обзором литературных источников, затрагивающих общее описание или значимые частные характеристики микроокружения церебральных метастазов, а также клиническое значение этих характеристик. Объект изучения во всех статьях — взрослые пациенты (возраст >18 лет) с метастатическими или предшествующими вторичными опухолями головного мозга. Статьи были собраны в системах PubMed, eLIBRARY, Web of Science, основной акцент делался на публикации 2022–2024 гг. При этом использованные статьи более раннего периода затрагивают фундаментальные характеристики в нейроонкологии, которые не пересматривались за последующие годы.

Цель статьи — на основании собранных по литературным данным современных представлений о перитуморальном микроокружении церебральных метастазов показать важность учета характеристик этой структуры в комплексном лечении.

Результаты

Для проявления диссеминированного онкологического процесса необходимо завершение сложной последовательности молекулярно-биологических событий, называемой «метастатический каскад» [6]. Некоторые механизмы «метастатического каскада» остаются спорными, а последовательность, а также действующие на каждом его этапе факторы и кофакторы продолжают изучаться. Например, не до конца остается понятным происхождение метастатических клеток. По одной гипотезе, метастатическая клетка происходит из «опухолевой стволовой клетки» — трансформированной, способной к самообновлению и перестройке функциональных элементов в пределах своей клеточной линии стволовой клетки [6].

Активация онкогенов и инактивация некоторых генов-супрессоров опухолей как следствие нестабильности генома может привести к трансформации нормальных стволовых клеток в раковые стволовые клетки. Несколько генов, включая AKT, TRAIL и CXCL12, признаны генами-кандидатами для развития раковых стволовых клеток и метастазирования. Метастатические стволовые клетки могут демонстрировать более высокие уровни экспрессии некоторых генов (например, CXCR4, SDF1, VEGF), антиапоптотических белков (ингибиторов апоптоза семейства Bcl-2) и белков-переносчиков (BCRP и P-гликопротеин) и могут оставаться в фазе G0, что объясняет их устойчивость к химиотерапии [15].

Альтернативная гипотеза происхождения метастатических клеток предполагает появление особой клеточной популяции уже в процессе прогрессирования онкологического процесса [6].

На начальных этапах метастатическая клетка претерпевает так называемую эпителиально-мезенхимальную трансформацию, которая приводит к потере клеточной адгезии, появлению мобильности клеток. Далее циркулирующие опухолевые клетки, посредством выделяемых ими протеолитических ферментов разрушают базальную мембрану эндотелиоцитов, проникают в сосудистое русло, по которому транспортируются в орган-мишень [6].

Давно признано, что большинство злокачественных опухолей показывают органоспецифическую картину метастазирования. Например, карциномы толстой кишки метастазируют обычно в печень и легкие, но редко в кости, кожу или мозг и почти никогда в почки, кишечник или мышцы [19]. Головной мозг чаще всего является мишенью для метастатических клеток рака легкого, меланомы, рака молочной железы [8].

Были предложены различные объяснения локализации метастазов, включая характеристики поверхности

опухолевых клеток, реакцию на хемотаксические факторы, адгезию между опухолевыми клетками и компонентами органа-мишени и реакцию на специфические факторы роста ткани хозяина. Обсуждается относительная важность ранее существовавших опухолевых субпопуляций со специфическими метастатическими свойствами и характеристик органной среды для определения метастатического самонаведения [14]. Альтернативное объяснение различных очагов опухолевого роста включает взаимодействие между метастатическими клетками и окружающей средой органа, возможно, с точки зрения специфического связывания с эндотелиальными клетками и реакции на местные факторы роста [14].

Перитуморальная зона (PTZ) представляет собой область головного мозга, окружающую опухоль, имеет ширину в несколько сантиметров и является местом специфических клеточных, молекулярных и рентгенологических изменений [7]. Есть работы, показывающие, что PTZ при церебральных метастазах состоит только из чистого вазогенного отека, поскольку вторичные злокачественные новообразования имеют тенденцию смещаться, а не проникать в окружающие ткани. Ожидается, что эти микроскопические характеристики приведут к изменению плотности PTZ на изображениях компьютерной томографии (КТ), но такие изменения слишком малозаметны для человеческого восприятия [7].

Опухолевое микроокружение ограничено гематоэнцефалическим барьером (ГЭБ), состоит из различных типов клеток, включая эндотелиальные клетки, фибробласты, перициты, микроглию и астроциты, а также различные иммунные клетки с подавляющими или стимулирующими функциями [27]. При метастазировании в головной мозг циркулирующие опухолевые клетки (ЦОК) нарушают целостность ГЭБ, выходят из сосудов, а далее адаптируются в паренхиме мозга [4, 14]. ГЭБ является первым шагом по колонизации головного мозга для ЦОК [4].

Хотя метастатический генотип содержит дополнительные генетические мутации, считается, что спектр его отклонений аналогичен спектру, обнаруживаемому при первичных поражениях. Однако существует ряд исследований, которые указывают на существование метастазов с отсутствием генетического сходства с первичной опухолью. В частности, Bissig и соавт. показали, что 30 % почечно-клеточных метастазов имеют почти полностью другой генотип по сравнению с клетками первичного очага, выделенными у того же пациента [15].

Специфические ЦОК экспрессируют маркеры на клеточной поверхности, которые позволяют им проникать в паренхиму головного мозга, облегчая трансцеллюлярный транспорт, что приводит к разрушению ГЭБ и образованию менее герметичного гемато-опухолевого

барьера (ГОб), который характеризуется множеством отличительных особенностей, включая неоднородную проницаемость и активный отток молекул [5], а также инфильтрированность его различными иммуносупрессивными клетками из периферического кровообращения [29].

Распространяющееся опухолевое поражение вызывает местные и дистальные изменения, которые могут напрямую поставить под угрозу жизнеспособность нейронов и сосудистую систему. Негерметичные и дисфункциональные сосуды приводят к задержке воды и метаболических отходов в нейропаренхиматозном пространстве, повышение давления интерстициальной и внутричерепной жидкости, что часто требует введения глюкокортикоидов для уменьшения отеков при злокачественных опухолях головного мозга [23]. Поскольку сосудистая сеть резко меняется во время роста опухоли, потребность в питательных веществах пролиферирующих раковых клеток требует использования существующих сосудов и/или создание новых посредством ангиогенеза [21]. Ангиогенез важен для снабжения организма кислородом, питательными веществами, факторами роста, гормонами и протеолитическими ферментами, которые контролируют свертывающую и фибринолитическую системы, а также распространение опухолевых клеток в отдаленные участки [14]. Несмотря на обсуждаемую важность неоангиогенеза, в нескольких исследованиях было показано, что как первичные опухоли головного мозга, так и метастатические могут прогрессировать без ангиогенеза и использовать для своего роста сосуды «хозяина» либо иметь смешанный вариант кровоснабжения [24].

Опухоли могут увеличивать кровеносные сосуды через другие механизмы: постнатальный васкулогенез, инвагинация, сосудистая мимикрия и трансдифференцировка [21, 22].

Сосудистая дисфункция во время прогрессирования опухоли, частично опосредованная дисрегулированной экспрессией ангиогенных факторов, таких как фактор роста эндотелия сосудов (VEGF), приводит к гипоксии и кислой среде, которая способствует прогрессированию опухоли посредством индуцируемого гипоксией фактора 1 α (HIF1 α). Более того, сам VEGF может регулировать проницаемость ГЭБ; следовательно, антиангиогенные средства в высоких дозах могут снижать проницаемость ГОб, что потенциально может повлиять на доставку других терапевтических средств. Реализация оптимального баланса между этими сосудистыми фенотипов остается проблемой для антиангиогенной терапии как первичных, так и метастатических опухолей головного мозга [5]. Астроциты, которые можно считать частью ГЭБ, поскольку их концевые части окружают кровеносные сосуды, в ответ на опухолевую инвазию про-

дуцируют плазмин из получаемого нейронами плазминогена. Переведенный в активное состояние плазмин (L1CAM), должен блокировать взаимодействия между раковыми клетками и капиллярами. Однако появляется все больше свидетельств того, что в ходе метастатического каскада астроциты и микроглия могут быть «захвачены» опухолевыми клетками для их заселения и развития [4].

Хотя ГЭБ считается основным барьером для успешного лечения опухолей головного мозга необходимо учитывать местное микроокружение опухоли [5]. Микроглия, представленная резидентными макрофагами головного мозга, которые участвуют в иммунных реакциях и поддержании гомеостаза ЦНС, является одним из ключевых компонентов метастатического каскада в органе-мишени [1]. Выделяют 2 вида активированной микроглии: стимулированный с помощью LPS или IFN- γ фенотип M1, ответственный за образование провоспалительных цитокинов и стимулированный IL-4/IL-13 фенотип M2, который связывают с разрешением воспаления и восстановления тканей [18]. Метастатические клетки продуцируют молекулы, такие как микроРНК и иммуносупрессивные факторы, которые помогают им взаимодействовать и адаптироваться к окружающей среде в головном мозге [5]. Показано, что воспалительный процесс при метастазах в головной мозг активен у большинства пациентов с плотной инфильтрацией лимфоцитов, окружающих опухоль и часто экспрессирующих иммуносупрессивные факторы, такие как лиганд программируемой смерти-1 PD1/PD-L1 [4].

Изначально метастатические клетки перепрограммируют адаптивный иммунитет с помощью PD1/PD-L1 и иммунных контрольных точек CTLA4/CD80, что приводит к ослаблению иммунитета и иммуносупрессии. Астроциты, раковые клетки и микроглия взаимодействуют друг с другом посредством сложных механизмов, в англоязычной литературе называемых CNC-cancer crosstalk, и сводящихся к секреции ряда хемокинов и цитокинов с углублением опухолевой колонизации. Активированные STAT3, NF- κ B, AKT-MAPK пути в раковых клетках приводят к пролиферации и росту опухоли. CCL2 и CCL10, которые секретируются метастатическими раковыми клетками, привлекают больше иммуносупрессивной микроглии. c-Met, RAGE и VEGF, вырабатываемые в избытке микроглией M2, способствуют ангиогенезу опухоли. Взаимодействие между метастатическими раковыми клетками, микроглией и Т-клетками способствует высвобождению иммунной системы. Экзосомальные микроРНК приводят к поляризации микроглии M2, которая способствует колонизации раковых клеток и ингибирует цитотоксические эффекты Т-клеток посредством секреции иммуносупрессивных цитокинов [4].

Когда речь заходит о роли микросреды опухоли в распространении опухоли, ранние изменения, наблю-

даемые в тканях до появления признаков канцерогенеза, могут иметь решающее значение для тканеспецифического метастазирования. Например, воспалительная реакция, ремоделирование матрикса и увеличение активных форм кислорода часто предшествуют метастазированию опухоли. В работе Pavelic S.K. и соавт. (2011) было показано, что изменение экспрессии металлопротеиназы 9 предшествует метастазированию в легких [15]. Те же исследования показали, что поступление экспрессирующих рецептор фактора роста эндотелия сосудов 1 гемопоэтических предшественников из костного мозга в отдаленные участки способствует воспалению и поддерживает рост опухоли. Этот процесс представляет собой некоторые из ранних изменений, присутствующих в местном микроокружении и необходимых для возникновения метастазов [15].

Факты о роли хемокинов, небольших провоспалительных цитокинов-хемоаттрактантов, которые связываются с трансмембранными рецепторами G-белка клеток-мишеней, в обеспечении клеточного обмена, могут дополнительно пролить свет на то, как метастазы притягиваются к определенным органам. Например, хемокин SDF-1, полученный из стромы, связывается исключительно с CXCR4 и высоко экспрессируется в лимфатических узлах, легких, печени или костях [15].

Таким образом, перитуморозная зона метастаза окружена инфильтратом из воспалительных клеток: лимфоцитов, нейтрофилов, макрофагов и тучных клеток, которые взаимодействуют через сложную сеть межклеточных сигнальных путей, опосредованных молекулами поверхностной адгезии, цитокинами и их рецепторами [14]. Этот инфильтрат, особенно макрофаги, могут способствовать ангиогенезу опухоли, имеются сообщения о связи между инфильтрацией макрофагами, васкуляризацией и прогнозом.

Ассоциированные с опухолью макрофаги накапливаются в плохо васкуляризованных гипоксических или некротизированных областях и реагируют на экспериментальную гипоксию увеличением высвобождения VEGF и FGF-2 и широкого спектра других факторов, таких как TNF- α , урокиназа и матриксные металлопротеиназы. Кроме того, активированные макрофаги синтезируют и высвобождают индуцируемую синтазу оксида азота (NOS), которая увеличивает кровоток и способствует ангиогенезу [14].

Важным звеном в сохранении своей жизнеспособности являются те изменения, которые претерпевают метастатические клетки в «освоении» микроокружения. Например, утрата экспрессии некоторых супрессорных генов, в частности фосфатазы и гомолога тензина (PTEN), приводит к снижению апоптоза и усилению пролиферации [7].

Как и все другие типы клеток, раковые клетки воспринимают физические воздействия из своего микроокружения, которые механически изменяют ДНК транскрипцию и, следовательно, поведение и функции клеток — процесс, известный как механотрансдукция [16, 20].

Все этапы метастатического каскада по своей сути является механическим, поскольку клетки проникают и взаимодействуют с тканями и жидкостями различной состав и реологические свойства [16].

Обсуждение

В настоящее время доступны следующие пять вариантов лечения метастазов в головной мозг: химиотерапия, местная лучевая терапия или лучевая терапия всего головного мозга, хирургическое вмешательство, препараты молекулярной направленности и ингибиторы иммунных контрольных точек (ICI) [4].

Церебральные метастазы демонстрируют большое разнообразие клинических проявлений, в основном в зависимости от локализации первичной опухоли. Например, метастазы рака молочной железы могут оставаться скрытыми в течение нескольких лет после хирургического удаления первичного очага, в то время как метастазы у пациентов с выявленным раком поджелудочной железы и мелкоклеточной карциномой легкого часто широко распространены на момент постановки диагноза рака. [15]. В последних исследованиях было установлено, что метастазы одного и того же гистологического подтипа и одного и того же происхождения демонстрируют неоднородную картину инвазии в головной мозг [10].

Оперативное вмешательство занимает важное место в комплексном лечении церебральных метастазов. В зависимости от объема и техники операции все хирургические вмешательства подразделены на 4 вида: удаление метастаза единым блоком, тотальное фрагментирование, имплантация резервуара Оммаи, субтотальное удаление [2]. Резекция церебральных метастазов является одним из ключевых элементов мультимодальной терапии пациентов с олигометастазами в головном мозге [10]. Церебральные метастазы демонстрируют характер роста, отличный от глиомы, с меньшей и более локальной инвазией в головной мозг [11]. Можно выделить метастазы с экспансивным (опухоль окружена капсулой на всем протяжении), инфильтративным (характеризуется неоднородной [10] инфильтрацией прилежащего вещества) и смешанным экспансивно-инфильтративным характером роста [2]. При наиболее часто встречающихся солидных и солидно-некротических формах церебральных метастазов рака в большинстве случаев макроскопически удается проследить четкую

границу опухоли с перифокальной мозговой тканью, которая представлена бесструктурной, мало сосудистой зоной размягченного мозгового вещества [28]. Целевым объемом удаления таких метастазов считается удаление единым блоком, которое выполняется путем включения зоны расплавленного нежизнеспособного мозгового вещества вокруг метастатического узла в блок.

По данным мировой литературы частота локальных рецидивов после хирургического лечения церебральных метастазов достигает 40–60 % [2]. Доказано, что одним из факторов локального рецидива при неполной резекции является наличие опухолевых эмболов в сосудах перифокальной зоны [2]. Морфологические исследования, проведенные в ФГБУ РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН показали, что зона опухолевой инфильтрации перифокального мозгового вещества различна и зависит от гистологической формы опухоли. Минимальная инфильтрация при раке почки до 1–3 мм. Максимальная — при аденокарциноме легкого до 8 мм [28]. Кроме того, установлено, что ангиоматоз наиболее выражен на границе опухолевого узла и перифокальной мозговой ткани толщиной 1–2 мм. В связи с этими данными, для профилактики локального рецидива, в блок удаляемого метастаза рекомендуется включать зону перифокального мозгового вещества толщиной до 10 мм, при физиологической дозволенности [28].

В зарубежной литературе подобное расширение зоны резекции называется супрамаргинальная резекция, а ее границы определяются по T1 MPT срезам, как увеличение объема резекции по крайней мере на 5 мм [12].

Несмотря на выявляемые преимущества данного вида оперативного лечения солидных метастазов в виде увеличения локального контроля, патоморфологические механизмы, а также объем дозволенной супрамаргинальной резекции требуют дальнейшего изучения. На настоящий момент применение химиотерапии церебральных метастазов ограничено [27], при этом одним изобобщенных лимитирующих факторов является ГЭБ.

Новые знания о структуре и функциях ГЭБ/ГОб позволили разработать новые стратегии преодоления особенностей клеточных и молекулярных характеристик этого барьера по доставке лекарств к опухолям головного мозга, в том числе с проникновением в перитуморальные области опухоли [5]. Возможными стратегиями в преодолении ГЭБ/ГОб на настоящий момент являются: изучение способности определенных стволовых клеток к самонаведению [5], работа с переносчиками (где одними из важнейших являются ответственные за создание множественной лекарственной устойчивости ABC-транспортеры (например, P-gp и BCRP)) [25], изучение рецептор-опосредованного трансцитоза ГЭБ/ГОб (например, за счет трансферрина, инсулина и инсулиноподобного фактора роста 1 рецепторов) [26].

В последние годы многие научные усилия были направлены на изучение взаимодействия иммунной системы и опухолевого микроокружения при метастазах в головной мозг, что позволяет идентифицировать ЦНС как иммунологически обособленный, а не иммуноизолированный компартмент [27, 35]. В работе Feng Y. и соавт. (2024 г.) выделили 3 потенциальных точки приложения в работе по поиску оптимальных путей терапевтического воздействия на микроокружение — воздействие на противовоспалительную (M1) глию, воздействие на иммунную метастатическую нишу с помощью ингибиторов контрольных точек (ICI), а также поиск путей запуска перепрограммирования M1/M2 микроглии [4].

Ведение в клиническую практику ингибиторов иммунных контрольных точек, блокирующих цитотоксический T-лимфоцит-ассоциированный протеин 4 (CTLA-4), белок запрограммированной клеточной гибели-1 (PD-1) и лиганд рецептора запрограммированной клеточной гибели (PD-L1), позволило улучшить прогноз пациентов со злокачественными новообразованиями различной локализации. Противоопухолевое действие ингибиторов иммунных контрольных точек основано на блокаде сигнальных путей CTLA-4 и PD-1/PD-L1 и усилении противоопухолевой активности лимфоцитов [30].

Инициально патоген-ассоциированные молекулярные паттерны распознаются Toll-подобными рецепторами (TLR), которые могут инициировать врожденные и адаптивные иммунные реакции. TLR экспрессируются в микроглии, нейронах, астроцитах и эндотелиальных клетках. Поэтому агонистам TLR уделяется большое внимание в качестве терапевтических средств против первичных опухолей и метастазов [4].

TLR-9 агонист олигодезоксинуклеотида CpG-C активировал микроглию для фагоцитоза опухолевых клеток, тем самым уменьшая метастазы в мозг при раке легких и меланоме [31].

Учитывая богатую представленность иммунной среды в микроокружении, изучение возможности применения ICI для таргетного лечения церебральных метастазов является оправданным. ICI улучшают распознавание опухолей иммунной системой, воздействуя на CTLA-4, PD-1, LAG-3, Gal-9/TIM-3 и другие препараты. За последнее десятилетие эти препараты значительно улучшили прогноз у пациентов с метастатическим раком [4].

Применение ипилимумаба в комбинации с ниволумабом и пембролизумабом или без них показало улучшение общей выживаемости у пациентов с меланомой и метастазами в головной мозг [32].

Одним из ключевых стратегических пунктов по поиску опций лечения церебральных метастазов явля-

ется перепрограммирование иммуносупрессивного/противовоспалительного фенотипа M2-глии к противоопухолевому/иммуностимулирующему/воспалительному фенотипу M1. В исследовании Wu S-Y. и соавт. (2021) лечение тамоксифеном подавляло метастазы в мозг, возникающие при раке молочной железы, блокируя поляризацию микроглии M2 и усиливая их противоопухолевый фагоцитоз [33]. Jin Y. и соавт. (2022) показали, что тоцилизумаб, моноклональное антитело, нейтрализующее IL-6R, и федратиниб, ингибитор JAK2, снижают частоту метастазирования НМРЛ в головной мозг [34].

Таким образом, в вопросах изучения иммунотерапии при церебральных метастазах существует очевидная потребность в стратегиях, которые могут доставлять иммунотерапевтические агенты в опухоли с высокой инфильтрацией иммунными клетками (то есть CD8+ Т-клетками), но без противоопухолевого иммунитета, и/или могут улучшить инфильтрацию Т-клеток в микроокружение опухоли. Подходы, позволяющие ограничить или избежать применения кортикостероидов для борьбы с отеком, который вызывает иммуносупрессию и снижает проницаемость ГЭБ/ГОб также будет иметь решающее значение для эффективной иммунотерапии злокачественных новообразований головного мозга [5].

Особенности применения лучевой терапии как этапа или в качестве самостоятельного варианта лечения также требует дальнейшего изучения, в том числе с учетом характеристик микроокружения опухоли и их изменений с течением времени и на терапии. Существуют противоречивые сведения, относительно того, может ли лучевая терапия улучшить доставку лекарственных препаратов через ГЭБ/ГОб [36, 37]. Однако, необходимы дальнейшие исследования, чтобы решить, действительно ли улучшение терапевтической доставки может произойти с помощью лучевой терапии, и если да, то обусловлено ли это прямым воздействием радиации на сосудистую систему или другими эффектами радиации на микроокружение, такими как воспаление или иные механизмы [5].

Выводы

Метастазирование — динамический процесс, состоящий из ряда этапов [6].

В головном мозге метастатические клетки претерпевают ряд трансформаций, включающих сосудистые изменения, в том числе увеличение проницаемости и выработку молекул адгезии, активацию компонентов матрикса и его ремоделирование, привлечение иммун-

ных клеток и метаболическую адаптацию [9]. Перитуморозная зона, образующаяся в результате этих преобразований — уникальная структура: с одной стороны, она включает множество, в большинстве своем микроскопических, характеристик — биомаркеров, мишеней и механизмов, делающих ее важным компонентом хирургического и терапевтического воздействия [3], с другой — она настолько динамична, что сама по себе может быть названа процессом, требующим дальнейшего изучения [3]. В эпоху иммунотерапии и таргетной терапии появился интерес к воздействиям на молекулярные и иммунные компоненты перитуморозного микроокружения головного мозга. Ожидаемые результаты применения терапевтических комбинаций на основе IC1 у пациентов с заболеваниями головного мозга могут вскоре привести к значительным изменениям в комплексном лечении таких пациентов, что позволит пересмотреть роль хирургического вмешательства и лучевой терапии при метастазах в головной мозг [27].

На настоящий момент актуальными в поисках высокоэффективных способов лечения церебральных метастазов остается изучение возможностей расширения применения терапевтических подходов, в том числе за счет механизмов преодоления ГОб, роли микроокружения в лучевой терапии, включая облучение всего мозга и радиохимию. Не существует исчерпывающих работ по сопоставлению выявляемых интраоперационно макро характеристик PTZ вторичных опухолей с описанными микро характеристиками PTZ опухолей для возможного использования этих знаний в хирургии церебральных метастазов.

Известно, что несколько метастазов в одном головном мозге могут отличаться друг от друга. Это объясняет возможный неодинаковый ответ на лучевую или химиотерапию при разных метастазах у одного пациента [6].

Изучение паттернов микроокружения метастазов при различных гистотипах первичной опухоли, а также продолжение формирования сведений о параметрах микроокружения головного мозга, в которых образуются более чувствительные к терапии опухоли при множественном метастатическом поражении, может открыть клинические перспективы для пациентов с церебральными метастазами. Стремительный прогресс в технологиях, таких как секвенирование отдельных клеток и пространственная транскриптомика, теперь дает возможность всестороннего исследования микроокружения опухоли [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. Giridharan N., Glitza Oliva I.C., O'Brien B. J. et al. Targeting the Tumor Microenvironment in Brain Metastasis. *Neurosurgery Clinics of North America*. 2020; 4 (31): 641–649.
2. Белов Д.М. Онкологические принципы хирургии церебральных метастазов рака: выбор тактики в зависимости от макроструктуры: дисс. канд. мед. наук: 3.1.6, 3.1.10. — НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина, Москва 2011 — 155с.
3. Zhang S., Regan K., Najera J. et al. The peritumor microenvironment: physics and immunity. *Trends Cancer*. 2023 Aug; 9(8):609–623. doi: 10.1016/j.trecan.2023.04.004. Epub 2023 May 6.
4. Feng Y., Hu X., Zhang Y., Wang Y. The Role of Microglia in Brain Metastases: Mechanisms and Strategies. *Aging and Diseases*. 2024; 1 (15): 169–185. <http://dx.doi.org/10.14336/AD.2023.0514>.
5. Arvanitis C.D., Ferraro G.B., Jain R.K. The blood–brain barrier and blood–tumour barrier in brain tumours and metastases. *Nat Rev Cancer*. 2020 Jan; 20(1): 26–41. Published online 2019 Oct 10. doi: 10.1038/s41568-019-0205-x
6. Ротин Д.Л. Клинико-морфологические и молекулярно-биологические аспекты развития метастазов в головной мозг. *Вопросы нейрохирургии* 2012; 2(12): 70–76.
7. Märginean L., Ștefan P.A., Lebovici A. et al. CT in the Differentiation of Gliomas from Brain Metastases: The Radiomics Analysis of the Peritumoral Zone. *Brain Sci*. 2022 Jan; 12(1): 109. Published online 2022 Jan 14. doi: 10.3390/brainsci12010109
8. Sevenich L. (2019) Turning «Cold» Into «Hot» Tumors—Opportunities and Challenges for Radio-Immunotherapy Against Primary and Metastatic Brain Cancers. *Front. Oncol*. 9:163. doi: 10.3389/fonc.2019.00163
9. Song Q., Ruiz J., Xing F. et al. Single-cell sequencing reveals the landscape of the human brain metastatic microenvironment. *COMMUNICATIONS BIOLOGY* (2023) 6:760. <https://doi.org/10.1038/s42003-023-05124-2>
10. M.A., Slotty P.J., Cornelius J.F. et al. The impact of cerebral metastases growth pattern on neurosurgical treatment. *Neurosurg Rev*. 2018 Jan; 41(1): 77–86. doi: 10.1007/s10143-016-0760-5.
11. M.A., Dibué-Adjei M., Cornelius J.F., et al. Is it all a matter of size? Impact of maximization of surgical resection in cerebral tumors. 2019; Volume 42: 835–842.
12. Pessina F., Navarra P., Cozzi L., et al. Role of Surgical Resection in Patients with Single Large Brain Metastases: Feasibility, Morbidity, and Local Control Evaluation. *World Neurosurgery*. 2016; Volume 94: 6–12.
13. Харченко Е.П., Соловьев И.А. Метастазирование и раковая спячка. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. 2016; 5(5): 72–77.
14. Ribatti D., Vacca A. The role of microenvironment in tumor angiogenesis. *Genes & Nutrition* 2008: volume 3 : 29–34.
15. Pavelic S.K., Sedic M., Bosnjak H. et al. Metastasis: new perspectives on an old problem. *Molecular Cancer* 2011: volume 10, Article number: 22.
16. Amos S.E., Choi Y.S. The Cancer Microenvironment: Mechanical Challenges of the Metastatic Cascade. *Front. Bioeng. Biotechnol.*, 12 February 2021 Sec. Biomaterials. Volume 9 — 2021 <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.625859>
17. Kotecha R., Gondi V., Ahluwalia M.S. et al. Recent advances in managing brain metastasis. Version 1. *F1000Res*. 2018; 7: F1000 Faculty Rev-1772 Published online 2018 Nov 9. doi: 10.12688/f1000research.15903.1
18. Orihuela R., McPherson C.A., Harry G.J. (2016). Microglial M1/M2 polarization and metabolic states. *Br J Pharmacol*, 173:649–665.
19. Ribatti D., Mangialardi G., Vacca A. Stephen Paget and the 'seed and soil' theory of metastatic dissemination. *Clin Exp Med*. 2006; 6:145–149 DOI 10.1007/s10238-006-0117-4
20. Broders-Bondon, F., Nguyen Ho-Boulidoires, T.H., Fernandez-Sanchez, M.-E., and Farge, E. (2018). Mechanotransduction in tumor progression: the dark side of the force. *J. Cell Biol*. 217, 1571–1587. doi: 10.1083/jcb.201701039
21. Carmeliet P., Jain R.K. Molecular mechanisms, and clinical applications of angiogenesis. *Nature* 2011; 473: 298–307.
22. Voutouri C. et al. Experimental and computational analyses reveal dynamics of tumor vessel cooption and optimal treatment strategies. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 116, 2662–2671 (2019).
23. Boucher Y., Salehi H., Witwer B., Harsh G.R. & Jain R.K. Interstitial fluid pressure in intracranial tumours in patients and in rodents. *Br. J. Cancer* 75, 829–836 (1997).
24. Сашин Д.В. МРТ в режиме SWI (изображений. Взвешенных по магнитной восприимчивости) в дифференциальной диагностике опухолей головного мозга: дисс.канд.мед.наук: 3.1.6, 3.1.25 — НМИЦ онкологии им.Н.Н.Блохина, Москва, 2022 — 145с.
25. Wijaya J., Fukuda Y. & Schuetz J.D. Obstacles to brain tumor therapy: key ABC transporters. *Int. J. Mol. Sci* 18, 2544 (2017)
26. Lajoie J.M. & Shusta E.V. Targeting receptor-mediated transport for delivery of biologics across the blood–brain barrier. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol* 55, 613–631 (2015)
27. Di Giacomo A.M., Valente M., Cerase A. et al. Immunotherapy of brain metastases: breaking a «dogma». *J Exp Clin Cancer Res*. 2019; 38: 419. Published online 2019 Oct 17. doi: 10.1186/s13046-019-1426-2
28. Клинические рекомендации по диагностике и лечению церебральных метастазов злокачественных опухолей / Алешин В.А., Бекашев А.Х., Белов Д.М., Карахан В.Б., Медведев С.В., Митрофанов А.А., Михина З.П., Москвина Е.А., Насхлеташвили Д.Р. // — Москва. — 2014. — 39с.
29. Quail D.F., Joyce J.A. The microenvironmental landscape of brain tumors. *Cancer Cell*. 2017; 31(3):326–341. doi: 10.1016/j.ccell.2017.02.009.
30. Шубникова Е.В., Букатина Т.М., Вельц Н.Ю., Каперко Д.А., Кутехова Г.В. Ингибиторы контрольных точек иммунного ответа: новые риски нового класса противоопухолевых средств. Безопасность и риск фармакотерапии. 2020; 8(1): 9–22. <https://doi.org/10.30895/2312-7821-2020-8-1-9-22>
31. Benbenishty A., Gadrich M., Cottarelli A., Lubart A., Kain D., Amer M. et al. (2019). Prophylactic TLR9 stimulation reduces brain metastasis through microglia activation. *PLoS Biol*, 17: e2006859
32. Long G.V., Atkinson V., Lo S., Sandhu S., Guminski A.D., Brown M.P., et al. (2018). Combination nivolumab and ipilimumab or nivolumab alone in melanoma brain metastases: a multicentre randomised phase 2 study. *Lancet Oncol*, 19:672–681.

33. Wu S-Y., Sharma S., Wu K., Tyagi A., Zhao D., Deshpande R.P. et al. (2021). Tamoxifen suppresses brain metastasis of estrogen receptor-deficient breast cancer by skewing microglia polarization and enhancing their immune functions. *Breast Cancer Res*, 23:35
 34. Jin Y., Kang Y., Wang M., Wu B., Su B., Yin H. et al. (2022). Targeting polarized phenotype of microglia via IL6/JAK2/STAT3 signaling to reduce NSCLC brain metastasis. *Signal Transduct Target Ther*, 7:52
 35. Chamberlain M.C., Baik C.S., Gadi V.K., Bhatia S., Chow L.Q. Systemic therapy of brain metastases: non-small cell lung cancer, breast cancer, and melanoma. *Neuro-Oncology*. 2017;19(1): 1–24.
 36. Zeng Y. et al. Blood–brain barrier permeability of gefitinib in patients with brain metastases from non-small-cell lung cancer before and during whole brain radiation therapy. *Oncotarget* 6, 8366–8376 (2015).
 37. Fang L. et al. Whole-brain radiation fails to boost intracerebral gefitinib concentration in patients with brain metastatic non-small cell lung cancer: a self-controlled, pilot study. *Cancer Chemother. Pharmacol* 76, 873–877 (2015).
-

© Щавинская Ася Валерьевна (asyashavinskaya@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

Наши авторы

Abdulayeva R. — Postgraduate student, Scientific Research Institute of Clinical Oncology named after Academician of the Russian Academy of Sciences and the Russian Academy of Medical Sciences N.N. Trapeznikov; Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of the Russian

Akhmadishina K. — Kazan Federal University

Akhmetov I. — Kazan (Volga Region) Federal University

Aksenov S. — Doctor of Economics, Professor, Ufa State University of Science and Technology

Amkhadova M. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Moscow Regional Clinical Research Institut named after M.F. Vladimirsky

Antonovskaya O. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

Arvanova S. — Senior Lecturer, of the Department of Computer Technologies and Information Security Kabardino-Balkaria State University named after K.M. Berbekov; Postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Southern Federal University»

Avksenteva E. — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, National Research University ITMO

Barulina M. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Professor, Medical University «Reaviz», Saratov; Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Director, Perm State National Research University; Head of the Laboratory, Saratov Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Problems of Precision Mechanics, and Control of the Russian Academy of Sciences

Bazin I. — Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, Scientific Research Institute of Clinical Oncology named after Academician of the Russian Academy of Sciences and the Russian Academy of Medical Sciences N.N. Trapeznikov; Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation

Belikova E. — Associate Professor, PhD, Associate Professor, National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Our authors

Besklubnaya A. — Candidate of Pedagogical Sciences, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering»

Botashev R. — Associate Professor, Department of Economics and Applied Computer Science Karachay-Cherkessia State University named after U.D. Aliyev

Bugero N. — Doctor of Biological Sciences, Professor, Pskov State University

Bulygin I. — Postgraduate student, Moscow Financial-Juridical Academy

Chekanov I. — PhD student, Russian State Social University

Cherdantseva E. — Altai State Pedagogical University, Barnaul

Cheremisn A. — Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, N.M. Fedorovsky Polar State University, Norilsk

Chernysheva E. — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department, Astrakhan State Medical University

Chikhareva Ya. — Oncologist, Scientific Research Institute of Clinical Oncology named after Academician of the Russian Academy of Sciences and the Russian Academy of Medical Sciences N.N. Trapeznikov; Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation

Chivilgina T. — Assistant at the Department of Cardiology, Astrakhan State Medical University

Chudakova S. — Researcher at the Laboratory, Ecology and Biomonitoring «EFA», Ecological and Biological Center «Krestovsky Island»

Chumakova A. — Leading QA Engineer, Innotech Group LLC

Dedkova S. — National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Dinaeva E. — Researcher, Oncologist, Scientific Research Institute of Clinical Oncology named after Academician of the Russian Academy of Sciences and the Russian Academy of Medical Sciences N.N. Trapeznikov; Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of the Russian Federation

Dorofeev A. — Ph.D, Associate Professor, Irkutsk National Research Technical University

Drup V. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Stavropol State Pedagogical Institute»

Egorova O. — undergraduate student, Ufa State University of Science and Technology

Galilulin I. — Director of the HR and Resource Center of the Kazan Federal University

Gavrikov D. — Surgeon, Head of the Surgical Department No. 4, S.S. Yudin City Clinical Hospital, Moscow

Grebenyuk Ya. — Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko, Moscow

Gurov A. — Ph.D. Student, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics, and Optics

Gushel V. — MIREA

Irzakhanova T. — National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Kamilov E. — Ph.D. Student, Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

Kapralov S. — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Kashirin K. — Moscow Aviation Institute

Kim E. — Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko, Moscow

Kisieva Z. — Associate Professor, North Ossetian State Medical Academy

Kokoreva A. — Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko, Moscow

Kolesnikova T. — National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Krasnov A. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Russian State Social University

Kubrakova E. — Postgraduate student, Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University)

Kuleshov V. — Postgraduate, Kuban State University

Kustov S. — Doctor of Biological Science, Professor, Kuban State University

Lyssev K. — PhD student, Russian State Social University

Magomedova R. — Laboratory assistant, Astrakhan State Medical University

Makiev G. — oncologist, Scientific Research Institute of Clinical Oncology named after Academician of the Russian Academy of Sciences and the Russian Academy of Medical Sciences N.N. Trapeznikov; Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of the Russian

Medvedev A. — PhD Student, ITMO University

Mezhekova D. — Resident, Federal State Educational Institution of Higher Education «Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov» of the Ministry of Health of the Russian

Mitina O. — Ph.D. Doctor of Applied Mathematics, Associate Professor, MIREA

Musalov G. — Dagestan State Medical University of Makhachkala

Musinova E. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Novoselova O. — Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Information Technology and Computer Systems MSUT «STANKIN»

Nurieva N. — Doctor of Medical Sciences, «South-Ural State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

Nurmagomedova S. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Ovodkov M. — Candidate of Technical Sciences, Head of the Scientific, Methodological Center for Environmental Modeling, Forecasting and Assessments Federal State Budgetary Institution «VNII Ekologiya»

Polidanov M. — Specialist, Assistant of the Department, Reaviz University, St. Petersburg

Privalov A. — Doctor of Medical Sciences, «South-Ural State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

Prokhorov E. — Irkutsk National Research Technical University

Rashkueva Z. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State Pedagogical University named after R. Gamzatov, Makhachkala

Rozhkov D. — Postgraduate student of the Department of Information Technology and Computer Systems MSUT «STANKIN»

Ruhlyada N. — MD, PhD, Dr Med Sci, professor, Head of the Department of Obstetrics and Gynecology, St. Petersburg State Pediatric Medical University Ministry of Health of the Russian Federation

Samburova K. — Postgraduate student, Moscow Regional Clinical Research Institut named after M.F. Vladimirsky

Seifulina G. — PhD in Biology, Acting Head, Associate Professor, Stavropol State Pedagogical Institute

Setdikova G. — Doctor of Medical Sciences, Chief Researcher, Pathologist, Moscow Regional Clinical Research Institut named after M.F. Vladimirsky

Shaimuratova N. — Ufa State University of Science and Technology

Sharara Simbarashe — Ph.D. student Moscow State Technological University

Shchavinskaya A. — neurosurgeon, Federal State Autonomous Institution «National Medical Research Center named after N.N. Burdenko»

Shelegova I. — graduate student, «South-Ural State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

Shungarov H. — PhD, Associate Professor, Department of Computer Science and Computational Mathematics Karachay-Cherkessia State University named after U.D. Aliyev

Stepanova S. — resident, Pskov State University

Stroy G. — Candidate of Psychological Sciences, Associate Professor, Stavropol State Pedagogical Institute

Sukhov V. — Junior Researcher at the Scientific, Methodological Center for Environmental Modeling, Forecasting and Assessments Federal State Budgetary Institution «VNII Ekologiya»

Tashalieva M. — National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Timershin B. — Postgraduate student, Institute of Computational Mathematics and Information Technology; Programmer technician, Scientific Research Center «Center of Excellence»

Titova A. — postgraduate student, Pskov State University

Tkachev M. — Monitoring Engineer at the Scientific, Methodological Center for Environmental Modeling, Forecasting and Assessments Federal State Budgetary Institution «VNII Ekologiya»

Tonkikh A. — graduate student, National Research University ITMO

Trunova S. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Dagestan State Medical University, Makhachkala

Tsyganov A. — Irkutsk State University

Vazhenina D. — Doctor of Medical Sciences, «South-Ural State Medical University» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Chief Researcher of A.M. Granov Russian Research Center for Radiology and Surgical Technology, Ministry of Health of Russia

Vazhov S. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Altai State Pedagogical University, Barnaul

Vazhov V. — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Altai State Pedagogical University, Barnaul

Velmakina I. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Volga Region Research Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod

Vinnikova S. — Researcher, State Medical Institution «St. Petersburg Research Institute» of Ambulance named after I.I. Janelidze

Volkov K. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Vysotsky L. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Vokulova Ju. — Doctor of Medical Sciences, Deputy Director, Lobachevsky Nizhny Novgorod State University

Yanova N. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Lobachevsky Nizhny Novgorod State University

Yaskov M. — Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Gorno-Altai State University

Zhitko A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kazan Federal University

Zhitko R. — Teacher, Kazan Federal University

Zhukov D. — Main Military Clinical Hospital named after Academician N.N. Burdenko, Moscow

Zhulev E. — Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Medical Sciences, Professor, Volga Region Research Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation, Nizhny Novgorod

Ziyara H. — National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev, Saransk

Требования к оформлению статей, направляемых для публикации в журнале



Для публикации научных работ в выпусках серий научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» принимаются статьи на русском языке. Статья должна соответствовать научным требованиям и общему направлению серии журнала, быть интересной достаточно широкому кругу российской и зарубежной научной общественности.

Материал, предлагаемый для публикации, должен быть оригинальным, не опубликованным ранее в других печатных изданиях, написан в контексте современной научной литературы, и содержать очевидный элемент создания нового знания. Представленные статьи проходят проверку в программе «Антиплагиат».

За точность воспроизведения дат, имен, цитат, формул, цифр несет ответственность автор.

Редакционная коллегия оста вляет за собой право на редактирование статей без изменения научного содержания авторского варианта.

Научно-практический журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» проводит независимое (внутреннее) рецензирование.

Правила оформления текста.

- ◆ Текст статьи набирается через 1,5 интервала в текстовом редакторе Word для Windows с расширением “.doc”, или “.rtf”, шрифт 14 Times New Roman.
- ◆ Перед заглавием статьи указывается шифр согласно универсальной десятичной классификации (УДК).
- ◆ Рисунки и таблицы в статью не вставляются, а даются отдельными файлами.
- ◆ Единицы измерения в статье следует выражать в Международной системе единиц (СИ).
- ◆ Все таблицы в тексте должны иметь названия и сквозную нумерацию. Сокращения слов в таблицах не допускается.
- ◆ Литературные источники, использованные в статье, должны быть представлены общим списком в ее конце. Ссылки на упомянутую литературу в тексте обязательны и даются в квадратных скобках. Нумерация источников идет в последовательности упоминания в тексте.
- ◆ Литература составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.
- ◆ Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Правила написания математических формул.

- ◆ В статье следует приводить лишь самые главные, итоговые формулы.
- ◆ Математические формулы нужно набирать, точно размещая знаки, цифры, буквы.
- ◆ Все использованные в формуле символы следует расшифровывать.

Правила оформления графики.

- ◆ Растровые форматы: рисунки и фотографии, сканируемые или подготовленные в Photoshop, Paintbrush, Corel Photopaint, должны иметь разрешение не менее 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.
- ◆ Векторные форматы: рисунки, выполненные в программе CorelDraw 5.0-11.0, должны иметь толщину линий не менее 0,2 мм, текст в них может быть набран шрифтом Times New Roman или Arial. Не рекомендуется конвертировать графику из CorelDraw в растровые форматы. Встроенные — 300 dpi, формата TIF, без LZW уплотнения, CMYK.

По вопросам публикации следует обращаться к шеф-редактору научно-практического журнала «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики» (e-mail: redaktor@nauteh.ru).