

ISSN 2223-2966



СОВРЕМЕННАЯ НАУКА:
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

№ 5 2024 (МАЙ)

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>

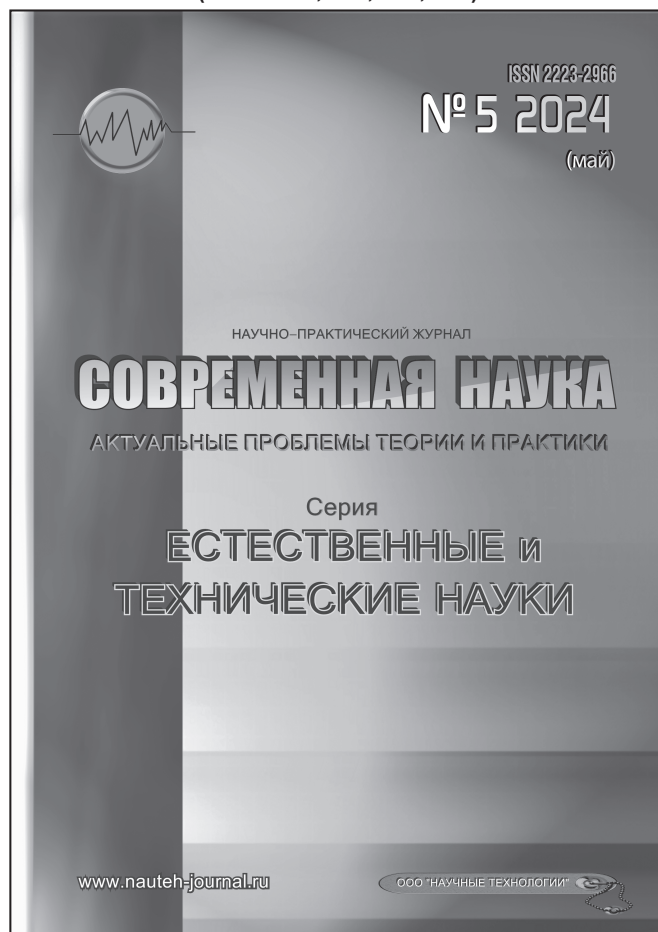
Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору в сфере массовых коммуникаций,
связи и охраны культурного наследия.

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)



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

СОВРЕМЕННАЯ НАУКА

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ

Серия

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

www.nauteh-journal.ru

ООО «НАУЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

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 27.05.2024 г. Формат 84x108 1/16
Печать цифровая Заказ № 0000 Тираж 2000 экз.

ISSN 2223-2966



9 772223 296607

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

Величко Т.И., Маркова О.А., Михайлюк Е.И., Ванина О.С. — Полиморфизм генов, спорт и заболевания спортсменов
Velichko T., Markova O., Mikhailyuk E., Vanina O. — Gene polymorphism, sports and diseases of athletes.....7

Иванков В.А. — Особенности селекции пчелиных семей среднерусской и карпатской пород в условиях северо-запада России
Ivankov V. — Features of breeding bee families of central Russian and Carpathian breeds in the conditions of northwest Russia.....13

Осинкина Т.В. — Исследование динамики накопления некоторых каротинов и ксантофиллов в горце птичьем (*Polygonum aviculare* L.) на территории г. Оренбурга
Osinkina T. — Study of the dynamics of accumulation of some carotene and xanthophylls in *Polygonum aviculare* on the territory of Orenburg.....17

Растанина Н.К., Галанина И.А., Попадъев И.А. — Горно-экологический мониторинг изменения почв в границах влияния оловорудного ГОКа в Приамурье
Rastanina N., Galanina I., Popadyev I. — Mining and environmental monitoring of soil changes within the boundaries of the influence of tin ore mining in the Amur region.....22

Информатика, вычислительная техника и управление

Астафьев Р.У., Деревянко Н.В. — Реализация алгоритма выбора серверного оборудования для модернизации информационной системы производственного цеха
Astafyev R., Derevyanko N. — Implementation of the algorithm for selecting server equipment for upgrading the information system of the production shop.....27

Балабанов А.И., Кукушкина Н.С., Воронкин Е.Ю. — Разработка методики построения архитектуры мультиагентных систем для распределения данных
Balabanov A., Kukushkina N., Voronkin E. — Development of a methodology for using multi-agent systems for data distribution.....33

Галиуллин И.Г., Чикрин Д.Е., Пашин Д.М., Фахрутдинов А.Ф. — Моделирование и полунатурные испытания информационно-управляющих систем беспилотной сельскохозяйственной техники на базе трактора Беларус-3525
Galilulin I., Chikrin D., Pashin D., Fahrutdinov A. — Modeling and semi-natural testing of information-control systems for unmanned agricultural machinery based on the Belarus-3525 tractor.....37

Горячкин Б.С., Мартынова А.А., Ляшков К.А., Ларин И.С. — Алгоритм проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий
Goryachkin B., Martynova A., Lyashkov K., Larin I. — An algorithm for designing web sites based on the use of analytical technologies.....44

Горячкин Б.С., Павловская А.А., Григорьев Ю.А. — Сравнительный анализ алгоритмов поиска ближайших соседей с использованием графов NSG и HNSW
Goryachkin B., Pavlovskaya A., Grigoriev Yu. — Comparative analysis of graph-based nearest neighbor search algorithms NSG and HNSW.....55

Грач Е.П. — Контроль уровня заряда аккумуляторов автономного цифрового устройства
Grach E. — Monitoring the charge level of batteries of autonomous digital device66

Достов М.К. — Использование больших языковых моделей в бизнесе
Dostov M. — Using big language models in business.....70

- Замятин В.М., Молчанова Е.И.** — Особенности применения описательной и аналитической статистики в социологических исследованиях
Zamyatin V., Molchanova E. — Features of the use of descriptive and analytical statistics in sociological research.....75
- Истамкулов Х.С.** — Исследование архитектуры GRU в контексте Python: подходы и применения
Istamqulov H. — GRU architecture research in the context of Python: approaches and applications. . . .83
- Ковалева А.В.** — Автоматизация процесса грейдинга сотрудников в организации
Kovaleva A. — Automation of the employee grading process in an organization87
- Кондратьев К.А.** — Цифровые двойники, как основа эксплуатации топливно-энергетического комплекса
Kondratiev K. — Digital doubles as the basis of operation fuel and energy complex91
- Коробкова Т.А.** — Проектирование web-приложения экспресс-диагностики меланомы на основе алгоритма Штольца
Korobkova T. — Designing a web application for express diagnostics of melanoma based on the Stolz algorithm98
- Краснов А.Е., Лысцев К.С., Чеканов И.Р.** — К вопросу об автоматизации процесса обеспечения информационной безопасности нефтесервисных предприятий: потенциал, области применения
Krasnov A., Lystsev K., Chekanov I. — On the issue of automating the process of ensuring information security of oilfield service enterprises. potential, areas of application 104
- Лю Юаньчжи, Борисов В.И.** — Автоматизация сборки образов и тестирование с помощью Jenkins на Яндекс.Облаке
Liu Yuanzhi, Borisov V. — Automating image builds and testing with Jenkins on Yandex.Cloud..... 108
- Михайлов Д.В.** — Фундаментальные и поведенческие аргументы дисконтирования цен застройщиками
Mikhailov D. — Fundamental and behavioral arguments for price discounting by developers. . . 115
- Мохорев Д.Е.** — Разработка универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе: анализ актуальных разработок в области поведенческой аналитики и математических теорий
Mokhorev D. — System: analysis of current developments in the field of behavioral analytics and mathematical theories..... 124
- Потехина А.М., Потехина А.М., Деканова Н.П.** — Исследование факторов, влияющих на «рейтинг клиента» в автоматизированной системе «динамическая модель загрузки инфраструктуры»
Potekhina A., Potekhina A., Dekanova N. — Investigation of the factors influencing the «customer rating» in the automated system «dynamic model of infrastructure loading» 132
- Русаков А.М., Соловьева В.А., Рахимов И.Р., Воробьев И.А., Филатов В.В.** — Разработка программного средства для реализации функции трансформации изображений по авторскому стилю на основе алгоритмов машинного обучения
Rusakov A., Solovyova V., Rakhimov I., Vorobyov I., Filatov V. — Development of a software tool for realizing the function of image transformation by author's style based on machine learning algorithms 139
- Староверов И.Н.** — Анализ и идентификация почти-пропорциональных характеристик в временных рядах
Staroverov I. — Analysis and identification of near-proportional characteristics in time series 147
- Филимонов А.А.** — Улучшение качества программного обеспечения за счет ускорения мутационного тестирования
Filimonov A. — Improving software quality by speeding up mutation testing 154
- Харичкин А.К.** — Особенности использования глубокой аналитики в управлении человеческими ресурсами на российском рынке
Kharichkin A. — Features of using deep analytics in human resource management in the Russian market..... 161
- Харламов П.С., Харламова О.Е., Лаврова Е.В.** — Идентификация пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуль многофакторной аутентификации для сложных экономических систем

Kharlamov P., Kharlamova O., Lavrova E. — Siamese neural network-based user identification as a multifactor authentication module for complex economic systems..... 166

Хрусталева И.Н., Хрусталева М.Б., Хохловский В.Н., Шкодырев В.П., Черных Л.Г. — Модель оптимизации целевых показателей комплекса действий по изменению структуры и свойств изделия в процессе его изготовления
Khrustaleva I., Khrustalev M., Khokhlovskiy V., Shkodryev V., Chernyh L. — Optimization model of targets for the complex of actions on changing the structure and properties of the product during its manufacture 173

Чжуан Синьтун, Сунь Хуэй — Анализ эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства
Zhuang Xintong, Sun Hui — Analysis of the effectiveness of the introduction of automation systems into the technological processes of modern production..... 182

Чжуан Синьтун, Сунь Хуэй — Разработка и апробация интеллектуальных систем управления для повышения производительности технологических процессов
Zhuang Xintong, Sun Hui — Development and testing of intelligent control systems to improve the productivity of technological processes 189

Клиническая медицина

Барова Н.К., Пелипенко Н.В., Стрюковский А.Е., Григорова А.Н. — Обобщение эпидемиологии химических ожогов пищевода различной этиологии и степени повреждения у детей Краснодарского края
Barova N., Pelipenko N., Stryukovsky A., Grigorova A. — Generalization of the epidemiology of chemical burns of the esophagus of various etiology and degree of damage in children of the Krasnodar territory 197

Бетева М.Ю., Задеренко И.А., Бетева С.Ю. — Роль смежных специальностей в выявлении причин развития новообразований верхнечелюстного синуса
Beteeva M., Zaderenko I., Beteeva S. — The role of related specialties in identifying the causes of maxillary sinus neoplasms 201

Гавриленко А.В., Николенко В.Н., Ли Чжи — Клиническое значение анатомических особенностей сонной артерии при каротидной эндартерэктомии
Gavrilenko A., Nikolenko V., Li Zhi — Clinical significance of carotid anatomic features during carotid endarterectomy 205

Курельчук А.Е., Ирза О.Л., Северинова С.К., Форостяный С.А., Овчаренко Е.Н., Непрелюк О.А. — Общий обзор о клинике и лечении генерализованной декомпенсированной формы патологической стираемости
Kurelchuk A., Irza O., Severinova S., Forostyaniy S., Ovcharenko E., Neprelyuk O. — General review of the clinical picture and the treatment of the generalised decompensated form of pathological tooth wear. 211

Масляков В.В., Полиданов М.А., Набиева Э.Я., Тохчукова А.М., Бабушкина П.А., Усачева Е.Ю. — Современные методы хирургического лечения повреждений акромиально-ключичного сустава
Maslyakov V., Polidanov M., Nabieva E., Tohchukova A., Babushkina P., Usacheva E. — Modern methods of surgical treatment of acromial-clavicular joint injuries..... 217

Мустафаева Л.Ф., Котельникова В.Э.А., Аблямитова Ф.Д., Азизова Г.Л., Сукасян Э.А. — Исторические аспекты и современное состояние эндоваскулярной хирургии (обзор литературы)
Mustafayeva L., Kotelnikova V., Ablyamitova F., Azizova G., Sukasyan E. — Historical aspects and current state of endovascular surgery (literature review)..... 223

Павлов Б.В., Гончарова Е.С., Кузиев И.Д., Мосолкова К.В., Скобелева А.А. — Патология почек при сахарном диабете 1 типа (диабетическая нефропатия)
Pavlov B., Goncharova E., Kuziev I., Mosolkova K., Skobeleva A. — Kidney pathology in type 1 diabetes mellitus (diabetic nephropathy)..... 227

Теузов А.А., Шугушхова М.Р., Бавокова Д.А., Битова Э.М., Кодзоков А.А. — Лапароскопическое лечение перфоративных гастродуоденальных язв в условиях районной больницы

Teuvov A., Shugushkhova M., Bavokova D., Bitova E., Kodzokov A. — Laparoscopic treatment of perforative gastroduodenal ulcers in a district hospital. 231

Тимофеев И.А., Пономарев В.В., Артюшков В.В., Шарибова А.М., Григорян Н.С. — Анализ структуры отдаленных осложнений при комплексном лечении пролапса гениталий
Timofeev I., Ponomarev V., Artyushkov V., Sharibova A., Grigoryan N. — Analysis of the structure of long-term complications in complex treatment of genital prolapse 237

Тотоева О.Н., Кокоева М.М., Калоев А.Б., Сарбашева М.М., Чочиева З.Г. — Возрастные изменения лимфатического русла периметрия
Totoeva O., Kokoeva M., Kaloev A., Sarbasheva M., Chochieva Z. — Age changes in the perimetric lymphatic bed. 241

Черепанова Е.В., Черепанова Е.В., Хелминская Н.М., Фёдорова В.Н., Притыко А.Г., Воронин П.А. — Акустометрическая диагностика гнойно-воспалительных и плановых хирургических ран челюстно-лицевой области
Cherepanova E., Cherepanova E., Khelminskaya N., Fedorova V., Prityko A., Voronin P. — Acoustometric diagnosis of purulent-inflammatory and surgical early maxillofacial areas. 245

Чесовских Ю.С., Волков К.А., Дубровская М.А., Полиданов М.А., Кравченя А.Р., Кравченя Д.С. — Влияние гормонов гипофиза и гипоталамуса на функциональную активность почек у женщин
Chasovskikh Yu., Volkov K., Dubrovskaya M., Polidanov M., Kravchenya A., Kravchenya D. — Influence of pituitary and hypothalamic hormones on functional activity of kidneys in women. 250

Наши авторы 253

ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ, СПОРТ И ЗАБОЛЕВАНИЯ СПОРТСМЕНОВ

GENE POLYMORPHISM, SPORTS AND DISEASES OF ATHLETES

**T. Velichko
O. Markova
E. Mikhailyuk
O. Vanina**

Summary. The purpose of the review is to analyze the results of research on the molecular genetics of sports. Analysis of the literature data has shown that there are known polymorphisms of genes associated with predisposition to various sports (aimed at developing endurance, speed and strength) and susceptibility to certain diseases. Genetic factors, along with environmental factors, play an important role in determining individual differences in the development and manifestation of physical qualities and adaptive capabilities of a person. The results of studies of the influence of polymorphic genes on phenotypes significant in the conditions of sports activity make it possible to modernize the system of medical and genetic support for physical culture and sports, taking into account the assessment of the genetic potential of the athlete's body, to put into practice assistance in planning and correcting the training process of athletes.

Keywords: gene polymorphism, genetic markers of physical activity, genetic markers of athletes' pathologies.

Достижения в современном спорте сопровождаются значительным увеличением объема и интенсивности физических нагрузок. Состояние спортивной формы, у каждого спортсмена, предполагает индивидуальный оптимальный уровень функционирования и сбалансированность регулирующих систем при мышечной деятельности. К ранним признакам ухудшения адаптации к нагрузкам относятся нарушения, влекущие за собой снижение работоспособности; в последующем чрезмерные физические и эмоциональные нагрузки становятся пусковым механизмом для развития цепи патологических реакций, формирующих развитие патологических состояний. Пределы человека и его предрасположенность к спорту и развитию патологии заложены в генетических структурах [1].

Величко Татьяна Ивановна

Доцент, кандидат биологических наук,
Московский Государственный Технический Университет
имени Н.Э. Баумана, Москва
tivelichko@mail.ru

Маркова Ольга Александровна

Старший преподаватель, Московский Государственный
Технический Университет имени Н.Э. Баумана, Москва
markovaoa75@mail.ru

Михайлюк Елена Игоревна

Доцент, кандидат биологических наук,
Московский Государственный Технический Университет
имени Н.Э. Баумана, Москва
elena.grishina2010@mail.ru

Ванина Олеся Сергеевна

Старший преподаватель, Московский Государственный
Технический Университет имени Н.Э. Баумана, Москва
ustimenko-o@mail.ru

Аннотация. Цель обзора — анализ результатов исследований по молекулярной генетике спорта. Анализ литературных данных показал, что известны полиморфизмы генов ассоциированных с предрасположенностью к различным видам спорта (направленным на развитие выносливости, быстроты и силы) и подверженности к тем или иным заболеваниям. Генетические факторы наряду с факторами внешней среды играют важную роль в детерминации индивидуальных различий в развитии и проявлении физических качеств и адаптационных возможностей человека. Результаты исследований влияния полиморфных генов на значимые в условиях спортивной деятельности фенотипы позволяют модернизировать систему медико-генетического обеспечения физической культуры и спорта с учетом оценки генетического потенциала организма спортсмена, внедрить в практику помощь в планировании и коррекции тренировочного процесса спортсменов.

Ключевые слова: полиморфизм генов, генетические маркеры физической активности, генетические маркеры патологий спортсменов.

Расшифровка генома человека открыла новые возможности в изучении молекулярных механизмов, лежащих в основе спортивного успеха, а также развития профессиональной патологии спортсменов. Геномы всех людей различны, за исключением однойцовых близнецов. Выраженные индивидуальные особенности геномов как в их смысловой части (экзоны), так и в их, не кодирующих последовательностях (межгенные промежутки, интроны), обусловлены мутациями, приводящими к генетическому полиморфизму.

Согласно современным представлениям молекулярной генетики спорта, считается, что индивидуальные различия в степени развития тех или иных физических и психических качеств человека во многом обусловлены

ДНК-полиморфизмами. ДНК-полиморфизмы — это вариативные участки в последовательности ДНК, которые встречаются в популяции с частотой не менее 1 %, и в большинстве случаев обладают нейтральным эффектом. Полиморфизмы также способны повлиять на степень экспрессии генов, активность функциональных продуктов (белков, РНК) и структуру белков. Функциональная значимость данных полиморфизмов связана с тем, что они расположены в кодирующих и регуляторных регионах ДНК. Именно эти, наименее представленные типы полиморфизмов, являются предметом ассоциативных исследований спортивных генетиков [2, 3].

Однонуклеотидные полиморфизмы — наиболее частая причина существования нескольких вариантов одного гена (аллелей), большинство вариаций в геноме человека приходится на их долю. К полиморфизмам также относятся инсерции/делеции (вставки/выпадения) нескольких пар нуклеотидов, сегментальные дубликации и повторы.

Генетические полиморфизмы могут быть количественными (изменения в области локализации митохондриальных последовательностей ДНК, так называемые повторные полиморфизмы) либо качественными (изменения представлены преимущественно однонуклеотидными заменами). Именно замены нередко представляют собой аллельные варианты генов, ассоциированные с различными мультифакторными заболеваниями, им принадлежит основная роль в генетическом полиморфизме человека [4, 5].

На сегодняшний день известно, что полиморфизм характерен практически для всех генов человека. Полиморфизмы, затрагивающие смысловые части генов, нередко приводят к замене аминокислот и к появлению белков с новыми функциональными свойствами. Наследуемые полиморфные изменения генов играют решающую роль в определении уникального биохимического профиля каждого человека, в его наследственной предрасположенности к различным заболеваниям.

Цель обзора — анализ результатов исследований по молекулярной генетике спорта.

Методы исследования: теоретический анализ, обобщение данных специальной литературы.

Результаты и их обсуждение

Анализ литературы показал, что результаты последних исследований в области молекулярной генетики спорта расширяют список генов, ассоциированных с физической активностью. Применение современных молекулярно-генетических методов позволяет выявить индивидуальные особенности организма человека.

Известно, что каждый человек по-разному реагирует на физические нагрузки, так как гемодинамические, метаболические и энергетические реакции при мышечной деятельности индивидуальны. Надо отметить существование индивидов, на которых стандартные физические нагрузки действуют как минимум нейтрально, не вызывая улучшения таких физических показателей, как максимальное потребление кислорода в результате длительных тренировок [6]. Данный факт свидетельствует об индивидуальных различиях в ответ на физические нагрузки, но еще не доказывает наличия очень низких спортивных способностей [3]. Необходимо учитывать возможность того, что такие индивиды могут быть интолерантными к физическим нагрузкам ввиду мутаций в ядерных и митохондриальных генах и поэтому не могут быть отнесены в полной мере к здоровым лицам [7].

Неадекватный выбор вида спортивной деятельности может сопровождаться формированием нерациональной функциональной системы адаптации с большим числом лишних, неэффективных и даже нецелесообразных функциональных взаимосвязей. Сопровождаться напряжением компенсаторных механизмов, затруднением восстановительных процессов, медленным развитием тренированности, менее успешным выступлением на соревнованиях, достижением высокого уровня спортивного мастерства, неутешительным прогнозом перспективности, остановкой роста спортивного мастерства в связи с исчерпанием генетического резерва организма [3].

Существует предположение, что все индивиды, не имеющие серьезных отклонений в здоровье, генетически предрасположены к занятиям различными видами спорта и способны достичь в них определенных успехов без вреда для здоровья. У большинства людей, есть шансы дойти до уровня КМС в «своем» виде спорта [3].

Большая часть генетической информации представляет собой прогностический характер [8]. Важно отметить, что при решении вопросов спортивной специализации и отбора, оптимизации и коррекции тренировочного процесса, профилактики заболеваний спортсменов молекулярно-генетическое тестирование должно лишь конкретизировать отдельные моменты и дополнять фенотипическую диагностику (биохимические, физиологические, антропометрические, клинические и т.д. методы обследования). Несмотря на определенные успехи в открытии генов, влияющих на физическую активность человека, любые интерпретации в отношении генетических результатов могут вводить в заблуждение, как исследователей, так и испытуемых [3].

В молекулярной генетике спорта под термином «молекулярно-генетический маркер» понимается

определенный аллель гена (либо генотип, различные комбинации аллелей и генотипов), ассоциированный с предрасположенностью к занятиям каким-либо видом спорта, развитием и проявлением какого-либо физического качества (двигательной способности), развитию какой-либо патологии либо нормального признака с биохимическими, антропометрическими, физиологическими и др. показателями [3]. Так в конце прошлого века, в качестве генетических маркеров использовали легко определяемые устойчивые признаки организма, тесно связанные с генотипом и отражающие наследственные задатки отдельных индивидуумов [9]. Среди них выделяли следующие группы маркеров:

- комплекс морфологических признаков, включающие пропорции тела, форму скелетных мышц и их топологический состав, степень жировоголожения;
- группы крови, включающие системы эритроцитарных антигенов — *ABO* и лейкоцитарных антигенов — *HLA*;
- дерматоглифы — узоры на подушечках пальцев рук и ног;
- состав мышечных волокон и их распределение по трем типам в соответствии с метаболическим профилем;
- гормональный профиль и содержание гормонов в крови.

Сегодня генетические маркеры определяются с помощью ДНК-технологий (полимеразная цепная реакция, полимеразная цепная реакция в реальном времени, применение биочипов, секвенирование — расшифровка последовательности ДНК).

Согласно обнаруженным эффектам полиморфизмов генов, выделяют аллели (маркеры), ассоциированные с развитием и проявлением выносливости (кардиореспираторной и/или мышечной), скоростно-силовых качеств (быстроты, взрывной или абсолютной силы), морфологических признаков, а также с деятельностью высшей нервной системы [3, 10, 9, 11, 12, 7].

На сегодняшний день обнаружено 79 генетических маркеров, ассоциированных с предрасположенностью к занятиям спортом [13]. Из этого списка — 59 связаны с видами спорта на выносливость и 20 — со скоростно-силовыми видами. Следует отметить, что только для 20 генетических маркеров была подтверждена их значимость в спортивном отборе как минимум в двух независимых исследованиях. Это 14 маркеров выносливости: *ACE I*, *ACTH3 577X*, *ADRB2 16Arg*, *AMPD1 Gln12*, *BDKRB2-9*, *COL5A1 rs12722 T*, *GABPB1 rs7181866 G* and *rs12594956 A*, *HFE 63Asp*, *KCNJ11 Glu23*, *PPARA rs4253778 G*, *PPARD rs2016520 C*, *PPARGC1A Gly482*, *UCP3 rs1800849 T*; и 6 маркеров быстроты и силы: *ACE D*, *ACTH3 Arg577*, *AMPD1 Gln12*, *HIF1A 582Ser*, *HOS3 rs2070744 T*, *PPARA rs4253778 C* [14].

Установлено, что чем большим числом благоприятных аллелей генов обладает индивид, тем выше его шансы стать высококвалифицированным спортсменом [3, 15], то есть надо обладать наличием 9 и более аллелей для развития выносливости и 3 и более аллелей — быстроты/силы [16].

Успешность спортсмена, в тоже время не может зависеть только от мышечной деятельности, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, а также от антропометрических и композиционных показателей. Устойчивость к психологическому стрессу, особенности темперамента и характера, способность к приему и переработке информации, это то, что также важно для осуществления успешной спортивной деятельности [17, 18, 10, 11, 19]. Поскольку генетически детерминированные признаки высшей нервной системы проявляются у людей по-разному, а в каждом виде спорта спортсмен должен обладать определенными психическими качествами, в связи с этим ведется поиск генетических маркеров, ассоциированные с деятельностью высшей нервной системы.

Согласно результатам психогенетических исследований, показатели наследуемости для черт темперамента составляют 30–60 %, причем психологические свойства и особенности темперамента, зависят от суммарного влияния или взаимодействия многих генов с небольшими эффектами [20].

Успешная реализация международной программы «Геном человека» создала условия для раскрытия функций генов человека, которые определяют темперамент через гормоны и другие биохимические медиаторы. Исследователи связывают систему нейронов, использующих в качестве медиатора норадреналин, с побуждающими, мотивационными аспектами поведения; дофаминовую систему — с обеспечением подкрепления или «вознаграждения», а серотониновую систему — с оказанием тормозящего эффекта на определенные виды активации, в частности, ведущие к тревоге или агрессии [21]. Проанализированы 6 полиморфизмов генов серотонинергической системы и их связь с личностными характеристиками [11] и 6 полиморфизмов генов дофаминергической системы [10]. Также, в формировании эмоционального состояния и темперамента человека может участвовать и ренин-ангиотензиновая система, компоненты которой экспрессируются в головном мозге [18, 19].

Генетические маркеры, ассоциированные со спортивной деятельностью, нередко являются и маркерами предрасположенности к различным распространенным заболеваниям, риске развития различных патологических состояний [22, 23, 24]. Идентифицированы также аллели полиморфных участков, ограничивающие двига-

тельную деятельность человека. Наличие таких аллелей коррелирует с прекращением роста спортивных результатов либо осложняется развитием патологических состояний (маркеры адаптации сердечно-сосудистой системы к физическим нагрузкам, интолерантности к физическим нагрузкам, маркеры повреждения головного мозга и опорно-двигательного аппарата) [3, 14, 7, 24, 25, 26].

Известно, что около 1,5 % болезней человека обусловлены мутациями отдельных генов, это наследственные болезни. Все остальные болезни, в том числе и сердечно-сосудистые, онкологические, психические и даже инфекционные, являются результатом сочетанного эффекта неблагоприятных внешних факторов и индивидуальных особенностей генома, каким-то образом, делающих человека чувствительным к заболеванию [27].

Заболевания сердечно-сосудистой системы у спортсменов, препятствуют росту спортивного мастерства. Основные гены-кандидаты, участвующие в регуляции сердечно-сосудистой системы человека в связи с физической деятельностью: *ACE*, *AGT*, *AGT2R1*, *NOS3*, *PPARA*, *APOE*, *BDKRB2*, *LPL*, *GNB3* [28].

Известно, что предрасположенность к гипертрофии миокарда передается по наследству и носит множественный полигенный характер. Установлена взаимосвязь некоторых аллелей/генотипов с предрасположенностью к развитию гипертрофии миокарда левого желудочка у спортсменов (*ACE* DD, *AGT* TT (M235T полиморфизм), *AGTR1* CC (A1166C полиморфизм), *IGF1*>19/19>, *IGF1R* AA (G3174A полиморфизм), *MSTN* AA (IVS1+88_90delA полиморфизм), *NFATC4* rs2229309 GG, *PPARA* rs4253778 C, *PPARD* rs2016520 C, *PPP3R1* 5D) [22, 29, 30].

Ген *ACE* кодирует ангиотензинпревращающий фермент, который участвует в регуляции функций сердечно-сосудистой системы, варианты локализации этого гена в: эндотелии кровеносных сосудов легких, мозга, васкулярного периферического ложа, где локальное образование пептидов (АТ-II и брадикинина) способствует поддержанию тонуса кровеносных сосудов; сердечной ткани, где *ACE* как фактор локальной ренин-ангиотензиновой системы влияет на регуляцию сократительной функции миокарда, рост кардиомиоцитов и развитие сердечной гипертрофии [3/4]. Идентифицировано множество данных об ассоциации полиморфизма гена *ACE* (D аллеля) с риском развития: инфаркта миокарда, артериальной гипертензии, гипертрофической кардиомиопатии, сосудистых осложнений сахарного диабета 2-го типа, в том числе у спортсменов [3, 31, 32, 33, 34].

Внезапная смерть у спортсменов, в 36 % случаев, вызвана гипертрофической кардиомиопатией [35]. Обнаружено более 900 мутаций в десятках генов, приводящих к гипертрофической кардиомиопатии [36].

В профессиональном спорте, важное значение имеет профилактика заболеваний, в частности, нарушений системы свертывания крови. Мутации в гене *F5* (*FV*) — Leiden (1691G>A (Arg506Gln), измененный продукт которого является одним из ключевых звеньев патогенеза венозного тромбоза, последствия которого могут привести к летальному исходу. Риск тромбоза также значительно увеличивается при наличии одновременно мутации *F5* (*FV*) — Leiden и полиморфизма *MTHFR* 677C>T [26]. Для раннего выявления патологии, с этой целью проводится анализ мутаций в генах *F1* (*FGB*), *F2* (*FII*), *F7* (*FVII*), *ITGB3* (*GPIIIa*), *ITGA2* (*GPIa*), *PAI1*, *MTHFR*, которые могут приводить к повышенному тромбообразованию, при выявлении функционально неблагоприятных аллелях [37].

В спорте существует множество факторов риска возникновения острых и хронических повреждений опорно-двигательного аппарата. Установлено, что различия в степени и характере повреждения опорно-двигательного аппарата обусловлены полиморфизмами генов, кодирующих белки структурных компонентов связок, сухожилий и костей, а также генов факторов роста и белков матрицы (коллагены, тенасцин С, матричные металлопротеиназы и др.) [23]. Генетические маркеры, ассоциированные с заболеваниями опорно-двигательного аппарата у спортсменов и лиц, не занимающихся спортом: *ADAMTS18* rs11864477 C (маркер риска), *COL1A1* rs1800012 TT (протективный генотип), *COL5A1* rs12722 CC (протективный генотип), *COL12A1* rs970547 AA (маркер риска), *GDF5* rs143383 TT (маркер риска), *JAG1* rs2273061 G (протективный аллель), *LRP5* rs4988321 A (Met667), rs3736228 T (Val1330) (маркеры риска), *MMP3* rs679620 GG, rs591058 CC, rs650108 AA (маркеры риска), *TNC* (GT-повторы 17-го интрона): 12 и 14 повторов — маркеры риска, 13 и 17 повторов — протективные аллели [14].

Нередким заболеванием спортсменов, занимающихся боксом, восточными единоборствами, футболом, хоккеем, регби и конным спортом является травматическая энцефалопатия. Неврологические и психические нарушения, возникающие в позднем или отдаленном периодах черепно-мозговой травмы. Установлено, что подверженность этому заболеванию зависит от полиморфизма гена аполипопротеина *E* (*APOE*), участвующего в обмене липидов в крови и в обмене холестерина в мозге. Существуют 3 основных аллеля *APOE*: нормальный *APOE*-ε3 и аллели риска — *APOE*-ε2 (ассоциирован с гиперлипидемией III типа и повышенным риском атеросклероза) и *APOE*-ε4 (связан с повышенным уровнем холестерина в крови и задержкой в регенерации нейронов), аллели отличаются друг от друга лишь точечной мутацией [14, 24, 38].

Анализ исследований в области молекулярной генетики физической активности, свидетельствует о во-

влечении в процесс мышечной деятельности множества полиморфных генов, каждый из которых в отдельности вносит небольшой вклад в общее развитие физических качеств человека [3, 39, 40]. Возникает необходимость проведения геномного типирования большого количества полиморфных участков генома для выявления суммарного вклада независимо действующих и взаимодействующих генов [3].

Заключение

В заключение следует отметить, что в реализации генетической детерминации к физической работоспособности принимают участие многие полиморфные гены. Одним из биохимических методов, чаще всего встречающихся в исследованиях спортивных генетиков, является полимеразная цепная реакция. Многочисленными

исследованиями определены генетические маркеры выносливости и быстроты/силы, а также полиморфизмы генов, ассоциированных с предрасположенностью к различным видам спорта и подверженности к тем или иным заболеваниям. Последние достижения в области молекулярной генетики открыли возможности для разработки новых методов профилактики и лечения патологий, связанных со спортивной деятельностью, и в основе лежит анализ полиморфизмов ДНК, ассоциированных с нормальными и патологическими признаками. Полученные данные фундаментальных исследований, могут быть использованы в практической работе тренеров для отбора перспективных спортсменов, а также для сохранения здоровья спортсменов. Внедрение технологии для идентификации генов-кандидатов заболеваний у спортсменов открывает широкий путь в спортивной медицине.

ЛИТЕРАТУРА

- Rankinen T., Bray M.S., Hagberg J.M., et.al. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2005 update // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2006. — Vol. 38 (11). — P. 1863–1888.
- Ахметов И.И. Молекулярная генетика спорта: состояние и перспективы // *Эл. Журнал КамГИФК «Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта».* — 2007. — № 5 [www.document].
- Ахметов И.И. Молекулярная генетика спорта: монография /И.И. Ахметов. — М.: Советский спорт, 2009. — 268 с.
- Баранов В.С. Генетический паспорт — основа индивидуальной и предиктивной медицины /В.С. Баранов. — СПб: Н-Л, 2009. — 528 с.
- Пузырев В.П. Генетический взгляд на феномен сочетанной патологии у человека // *Мед. генетика.* — 2008. — Т. 8. — № 9. — С. 3–9.
- Bouchard C., Rankinen T. Individual differences in response to regular physical activity // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2001. — Vol. 33. — P. 446–451.
- Bray M.S., Hagberg J.M., Perusse L. et.al. The Human Gene Mar for Performance and Health-Related Fitness Phenotypes: the 2006–2007 Update // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2009. — Vol. 41. — P. 35–73.
- Williams A.G., Wackerhage H., Miah A., et.al. Genetic Research and Testing in Sport and Exercise Science // *British Association of Sport and Exercise Sciences Position Stand, 2007.* — 26 p.
- Рогозкин В.А. Генетические маркеры физической работоспособности / В.А. Рогозкин, И.Б. Назаров, В.И. Казаков // *Теория и практика физической культуры.* — 2000. — № 12. — С. 34–36.
- Куликова М.А. Перспективы изучения полиморфизмов ключевых генов нейромедиаторных систем. Сообщение I. Дофаминергическая система / М.А. Куликова, Н.В. Малюченко, М.А. Тимофеева и др. // *Физиология человека.* — 2007. — Т. 33. — № 6. — С. 105–112.
- Тимофеева М.А. Перспективы изучения полиморфизмов ключевых генов нейромедиаторных систем. Сообщение II. Серотонинергическая система / М.А. Тимофеева, Н.В. Малюченко, М.А. Куликова // *Физиология человека.* — 2008. — Т. 34. — № 3. — С. 114–124.
- Ahmetov I.I., Rogozkin V.A. Genes, athlete status and training — An overview/ In: *Genetics and Sport* / Edited by M. Collins. — Basel, Karger, 2009.
- Ahmetov I.I., Fedotvskaya O.N. Sport genomics: current state of knowledge and future directions // *Cellular and Molecular Exercise Physiology.* — 2012.
- Ахметов И.И. Медико-генетическое обеспечение детско-юношеского спорта / И.И. Ахметов, Л.Д. Мустафина, Э.С. Насибулина // *Практическая медицина.* — 2012. — № 7 (12) [http://pmarchive.ru/medico-geneticheskoe-obespechenie-detsko-yunosheskogo-sporta/].
- Ahmetov I.I., Williams A.G., Popov D.V., et.al. The combined impact of metabolic gene polymorphisms on elite endurance athlete status and related phenotypes // *Human Genetics.* — 2009. — Vol. 126. — № 6. — P. 751–761.
- Ахметов И.И. Молекулярно-генетические маркеры предрасположенности к различным видам спорта // *Журнал Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта.* — 2010. — № 7 (65). — С. 3–6.
- Алексеев Ж.Б. Особенности интеллектуальной деятельности в спортивных играх /Ж.Б. Алексеев, Л.К. Серова // *Теория и практика физической культуры.* — 1998. — № 8. — С. 63.
- Ахметов И.И. Генетические маркеры темперамента /И.И. Ахметов, А.Д. Вафин, И.И. Шарифудинов // *Тезисы докладов 78-й Всероссийской студенческой научной конференции.* — Казань, 2004. — Т.1. — С. 67–68.
- Шлепцова В.А. Участие ренин-ангиотензиновой системы в формировании эмоционального состояния человека / В.А. Шлепцова, Н.В. Малюченко, М.А. Куликова и др. // *Бюлл. экспер. биол. мед.* — 2008. — Т. 145. — № 4. — С. 368–371.
- Carey G., DiLalla D.L. Personality and psychopathology: genetic perspectives // *J. Abnorm. Psychol.* — 1994. — Vol. 103. — P. 32–43.
- Cloninger C.R., Svrakis D.M. Integrative psychobiological approach to psychiatric assessment and treatment // *Psychiatri.* — 1997. — Vol. 60. — P. 120–141.
- Линде Е.В. Клинико-генетические аспекты формирования «патологического спортивного сердца» у высококвалифицированных спортсменов / Е.В. Линде, И.И. Ахметов, З.Г. Орджоникидзе // *Вестник спортивной науки.* — 2009. — № 2. — С. 32–37.

23. Foster B.P., Morse C.I., Ahmetov I.I., et.al. Genetic variation, protein composition and potential influences on tendon properties in humans // *The Open Sports Med. J.* — 2012. — Vol. 6. — P. 8–21.
24. Jordan B.D., Relkin N.R., Ravdin L.D., et.al. Apolipoprotein E epsilon4 associated with chronic traumatic brain injury in boxing // *JAMA.* — 1997. — Vol. 278. — P. 136–140.
25. Khoschnau S., Melhus H., Jacobson A., et.al. Type I collagen alpha1 Sp1 polymorphism and the risk of cruciate ligament ruptures or shoulder dislocations // *Am. J. Sports Med.* — 2008. — Vol. 36. — P. 2432–2436.
26. Khan S., Diskerman J.D. Hereditary thrombophilia // *Thrombosis J.* — 2006. — Vol. 4. — № 15.
27. Баранов В.С. Полиморфизм генов, экогенетические болезни и предиктивная персонализированная медицина // *Экологическая генетика.* — 2011. — Т.IX. — № 3. — С. 3–14.
28. Moran C.N., Vassilopoulos C., Tsiokanos A., et.al. The associations of ACE polymorphism with physical, physiological and skill parameters in adolescents // *Eur. J. Hum. Genet.* — 2006. — Vol. 3. — P. 1–8.
29. Karlowatz R.J., Scharhag J., Rahnenfuhrer J., et.al. Polymorphism in the IGF1 signalling pathway including the myostatin gene are associated with left ventricular mass in male athletes // *British J. of Sports Med.* — 2011. — Vol. 45. — № 1. — P. 36–41.
30. Mauro D.M., Izzicupo P., Santarelli F., et.al. ACE and AGTR1 polymorphisms and left ventricular hypertrophy in endurance athletes // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2010. — Vol. 42. — № 5 — P. 915–921.
31. Diet F., Graf C., Mahnke N., et.al. ACE and angiotensinogen gene genotypes and left ventricular mass in athletes // *Eur. J. Clin. Invest.* — 2001. — Vol. 31. — P. 836–842.
32. Fatini C., Guazzelli R., Manetti P., et.al. RAS genes influence exercise-induced left ventricular hypertrophy: an elite athletes study // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2000. — Vol. 32. — P. 1868–1872.
33. Kasikcioglu E., Kayserilioglu A., Ciloglu E., et.al. Angiotensin-converting enzyme gene polymorphism, left ventricular, and exercise capacity in strength-trained athletes // *Heart Vessels.* — 2004. — Vol.19. — P.287–293.
34. Rizzo M., Gensini F., Fatini P., et. al. ACE I/D polymorphism and cardiac adaptations in adolescent athletes // *Med. Sci. Sports Exerc.* — 2003. — Vol. 35. — P. 1986–1990.
35. Maron B.J., Doerer J.J., Haas T.S., et. al. Sudden deaths in young competitive athletes: analysis of 1866 deaths in the United States, 1980 — 2006 // *Circulation.* — 2009. — Vol. 119. — № 8. — P. 1085–1092.
36. Frey N., Luedde M., Katus H. Mechanism of disease: hypertrophic cardiomyopathy // *Nature Reviews Cardiology.* — 2011. — Vol. 9. — № 2. — P. 91–100.
37. Баранов В.С. Определение генетической предрасположенности к некоторым мультифакторным заболеваниям. Генетический паспорт. Методические рекомендации / В.С. Баранов, В.Х. Хавинсон. — СПб.: Фолиант, 2001. — 47 с.
38. Weisgraber K.H., Rall S.C., Mahley R.W. Human E apoprotein heterogeneity. Cysteine-arginine interchanges in the amino acid sequence of the apo-E isoforms // *J. Biol. Chem.* — 1981. — Vol. 256. — P. 9077–9083.
39. Saunders C.J., Xenophontos S.L., Cariolou M.A., et.al. The bradykinin b2 receptor (BDKRB2) and endothelial nitric oxide synthase 3 (NOS3) genes and endurance performance during Ironman Triathlons // *Hum. Mol. Genet.* — 2006. — Vol. 15. — P. 979–987.
40. Williams A.G., Dhamrait S.S., Wootton P., et.al. Bradykinin receptor gene variant and human physical performance // *J. Appl. Physiol.* — 2004. — Vol. 96. — P. 938–942.

© Величко Татьяна Ивановна (tivelichko@mail.ru); Маркова Ольга Александровна (markovaoa75@mail.ru); Михайлюк Елена Игоревна (elena.grishina2010@mail.ru); Ванина Олеся Сергеевна (ustimenko-o@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ СЕЛЕКЦИИ ПЧЕЛИНЫХ СЕМЕЙ СРЕДНЕРУССКОЙ И КАРПАТСКОЙ ПОРОД В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Иванков Владимир Алексеевич

Аспирант, Российский Государственный Университет
Народного Хозяйства имени В.И. Вернадского
warsonof62@gmail.com

FEATURES OF BREEDING BEE FAMILIES OF CENTRAL RUSSIAN AND CARPATHIAN BREEDS IN THE CONDITIONS OF NORTHWEST RUSSIA

V. Ivankov

Summary. The purpose of this review was to analyze the features of selection of Central Russian and Carpathian bee breeds in the conditions of North-West Russia.

Central Russian bees have positive (frost resistance, fertility, disease resistance) and negative (viciousness and pronounced ability to swarm, etc.) properties. Among the positive properties of the Carpathian breed, it is worth mentioning weak aggressiveness and swarming, high performance and resistance to hive pests. Their main disadvantage is their moderate frost resistance — during the cold period they need control and care.

The measures to restore beekeeping, which began in the post-war period, led to a large percentage of crossbreeding of breeds, which in turn led to a number of negative effects: a decrease in winter hardiness, egg production and resistance to pathogens in the Central Russian bee. Currently, to preserve the purity of the breeds, a set of measures is being carried out, including the restoration of the geno— and phenotypic properties of bees and the creation of zones for the preservation of purebred lines: for the Central Russian — the northern regions of the European part of Russia and Siberia, for the Carpathian — the Transcarpathian region.

Keywords: bees, selection, Central Russian breed, Carpathian breed, exterior properties.

Аннотация. Целью настоящего обзора стал анализ особенностей селекции среднерусской и карпатской пород пчел в условиях Северо-Запада России. Среднерусские пчелы имеют положительные (морозоустойчивость, плодovitость, устойчивость к заболеваниям) и отрицательные (злобivость и выраженную способность к роению, и др.) свойства. Среди положительных свойств карпатской породы стоит упомянуть слабые агрессивность и роение, высокую работоспособность и устойчивость к вредителям улья. Основным их недостатком является умеренная морозоустойчивость — в холодный период они нуждаются в контроле и уходе.

Начатые в послевоенное время мероприятия по восстановлению пчеловодства привели к большому проценту метизации пород, что в свою очередь привело к ряду отрицательных эффектов: снижению зимостойкости, яйценоскости и устойчивости к возбудителям заболеваний у среднерусской пчелы. В настоящее время для сохранения чистоты пород проводится комплекс мероприятий, включающий восстановление гено— и фенотипических свойств пчел и создание зон сохранения чистопородных линий: для среднерусской — северные районы европейской части России и Сибири, для карпатской — Закарпатская область.

Ключевые слова: пчелы, селекция, среднерусская порода, карпатская порода, экстерьерные свойства.

Пчеловодство — одна из важных отраслей сельского хозяйства так как медоносные пчелы — это единственные насекомые, производящие мед, воск, прополис, пыльцу, маточное молочко, пчелиный яд и др. В природе пчелы опыляют до 80–90 % всех медоносных культур, способствуя сохранению биоразнообразия растений. При этом опыление в агроэкосистемах энтомофильных сельскохозяйственных культур способствует повышению уровня их производства: в результате опыления урожайность отдельных культур может повышаться на 25–50 %. При этом улучшается качество семян и плодов, а доход от пчелоопыления может превышать доход от производства прямой продукции пчеловодства в 10–15 раз [3, 9]. Помимо этого, пчелы признаны важными биоиндикаторами загрязнения окружающей среды [5, 8].

Одним из способов повышения эффективности пчеловодства является селекция, основными задачами которой являются: улучшение племенных качеств имеющихся пород и популяций; выведение новых линий, межлинейных гибридов и межпородных помесей пчел с предпочтительными признаками, такими как: приспособляемость к условиям определенных природных зон, способность к эффективному опылению энтомофильных сельскохозяйственных культур и производство меда и других продуктов пчеловодства [2,8].

Целью настоящего обзора стал анализ литературных данных и выявление особенностей селекции среднерусской и карпатской пород пчел в условиях Северо-Запада России.

Так как территории Российской Федерации характеризуются разнообразием природно-климатических

условий, то раздел Государственного реестра с перечислением пород пчел, рекомендованных к разведению в РФ, регулярно пересматривается и корректируется [4]. Каждая из пород имеет исторический ареал (табл. 1), характеризуется комплексом биологических признаков и адаптирована к определенному типу медосбора. Установлено, что у среднерусской (СП) и карпатской (КП) пород был один предок — краинская медоносная пчела (*Apis mellifera carnica*), распространенную в горных регионах Центральной и Восточной Европы.

Таблица 1.

Территории обитания карпатской и среднерусской пород пчел [3]

| Вид | Территории обитания |
|-------------------------------|---|
| Карпатская пчела («Карпатка») | — Карпатский горный хребет, охватывающий территорию Польши, Словакии, Западной Украины и Румынии; — в настоящее время выращивается более чем в 20 странах; — В РФ рекомендованы для разведения в 28 регионах Северо-Западного, Центрального, Северо-Кавказского и Южного федеральных округов; — составляют 17 % общей численности пчелиных семей России. |
| Среднерусская пчела | — в основном встречается в центральных регионах России, включая такие области, как Москва, Тверь и Владимир; — районированы в 52 регионах Центрального, Северо-Западного, Приволжского, Уральского, Сибирского федеральных округов и составляют 60 % от общего количества пчелиных семей в стране. |

Среднерусская или темная лесная пчела (*Apis mellifera mellifera* L.) имеет эволюционно выработанную жизнестойкость — способна выдержать до 7 месяцев зимовки в умеренной и северной климатических зонах [5]. СП склонны создавать обильные запасы перги в расплодной части гнезда. СП отличаются высокой яйценосностью маток: при благоприятных условиях в период интенсивного развития пчелиных семей они откладывают до 2000 яиц в сутки. В этот период вся жизненная стратегия пчелиной семьи направлена на выращивание расплода, что позволяет нарастить им силы к периоду медосбора. После окончания взятка матки уменьшают откладку яиц, что считается началом подготовки к предстоящей зимовке. Отмечено, что в это время при температуре около 20°C пчелы меняют свой режим: они дольше остаются в улье, периодические очистительные облеты становятся кратковременными что позволяет пчелиной семье сохранить свою численность и обеспечить хорошую зимовку [2,7]. СП устойчивы к нозематозу, падевому токсикозу, гнильцовым болезням и др., в то же время страдают от восковой моли. Из отрицательных свойств породы необходимо упомянуть: злобливость и агрессивность, выраженное роение (в рой может вхо-

дить до 70 % пчел с двухлетними матками), отсутствие возможности тихой смены и сожительства маток и др. Находясь в состоянии роения, СП с трудом переключаются на рабочий режим, что замедляет отстройку сот, выращивание расплода и снижает эффективность медосбора. Кроме того, в отличие от южных пород, СП плохо защищают свои гнезда от пчел-воровок при этом менее склонны к пчелиному воровству [2]. Однако от отрицательных качеств может быть и польза: короткий средне— и позднелетний медосбор происходит в основном с одного вида (липа, гречиха, кипрей и др.) медоноса и СП отличаются консервативностью в выборе источников и инертностью в поиске и переключении на новые варианты-то это позволяет получать монопродукт высокого качества (липовый, гречишный и др. мед) [9].

Пчелы карпатской породы (*Apis mellifera carpatica*) характеризуются миролюбием, умеренной ройливостью (30–35 %), интенсивным весенним развитием и использованием различных типов медосбора. Карпатская пчела (КП) была обнаружена в 1961 г. в Карпатах и признана вымирающей. В последующем была проведена большая селекционная работа по восстановлению породы. КП умеренно зимостойка в основном за счёт способности создания запасов корма перед зимним периодом. Кроме того, важным моментом её успешного выживания является поддержание постоянной влажности в ульях в зимнее время, в связи с чем жилище переносится в зимовник при наступлении первых устойчивых заморозков. Пчелиные семьи этой породы интенсивно развиваются в весенний период, обладают высокой работоспособностью по заготовке меда и перги, и способны быстро отыскивать новые источники корма. Миролюбивость КП проявляется как внешне (спокойно сидят на рамках при осмотре), так и внутри семьи: смена пчелиных маток может проходить тихо, две матки могут уживаться вместе продолжительное время. Это с одной стороны снижает необходимость постоянного контроля семьи в улье, с другой может стать причиной потери семьей всех маток. Пчелиные семьи КП состоят из малочисленных роев и имеют хорошие санирующие способности. КП имеют естественную толерантность к ульевым вредителям — возбудителям варроатоза, акарапидоза и др. Кроме того, ряд исследователей отмечает склонность КП к воровству [5]. Одним из важных недостатков породы является её термозависимость: в особо холодные зимы возможна гибель целых семей.. В связи с этим пчеловодами разработан комплекс мер, включающий организацию сверххранних очистительных облетов пчел в теплицах или специальных палатках. После этого ульи снова заносят в домашник и выставляют только после установки теплой погоды. Кроме того, при разведении КП в северных регионах России у них усиливается злобливость, а при содержании в южных областях для повышения их продуктивности требуется притенение ульев и усиление их вентиляции [2,7].

По экстерьерным показателям (табл. 2) у пород имеются различия: СП более пушистая, с более длинными волосками, что обуславливает её морозостойкость. У КП мохнатость меньше, волоски короче, но за счёт более длинных, относительно тела, крыльев она способна более активно двигаться что косвенно способствует её морозостойкости.

Таблица 2.

Некоторые экстерьерные особенности среднерусской и карпатской пород пчел

| Признак | Порода | |
|--|--|---|
| | среднерусская | карпатская |
| Масса тела рабочей особи, мг | 110–120 | ≤110 |
| Количество откладываемых маткой яиц, шт. | ~2000 | 1150–1700 |
| Цвет тела | сплошной темно-серый без желтых и красных оттенков | более темный цвет, с желтыми полосами на брюшке |
| Хобот, длина мм | 6–6,4 | 6,3–6,7 |
| Количество волосков, длина волосков, мм | Много, 5 мм | Меньше 3,5–4 мм |
| Кубитальный индекс, %* | ≥60 % | 45–50 % |
| Печатка меда | Светлая, сухая | Промежуточная, ближе к сухой, светлая |

Примечания: * — соотношение отрезков третьей кубитальной ячейки переднего крыла, устойчивый наследственный признак, указывающий на выраженную адаптацию к окружающей среде.

Из-за своих биологических особенностей медоносная пчела считается сложным объектом для селекции. К сожалению, во многих регионах России за последние десятилетия происходила бессистемная неконтролируемая метизация пчел. Началом процесса считаются 30–40-е годы XX века, когда южные породы пчел начали завозить и распространять в Центральной части страны как для восстановления пчеловодства, так и в связи с необходимостью организации опыления энтомофильных культур. До начала семидесятых годов прошлого века метизация пчел шла в основном за счет завоза в северные районы кавказских пчел, позднее — карпатской породы. Наибольший размах она получила при использовании помесных пчел для получения эффекта гетерозиса, однако эффективность данного варианта не получила научного подтверждения и не дала ожидаемого результата, но при этом усугубила проблему чистопородности пчел — на некоторых территориях до резкого уменьшения численности или их исчезновения [1,5]. Таким образом, в настоящее время основными проблемами селекционирования пчел являются: повышение продуктивности (за счёт уменьшения способности к ро-

ению, повышения зимостойкости и усиления плодовитости) и восстановление чистоты породы. Последнее решается за счёт постепенного расширения ареала чистопородных пчел: определения региона доминирования породы, организации изолированных пунктов спаривания маток и трутней, репродукции сохранившихся чистопородных пчел в матковыводных хозяйствах и др. При этом генетико-популяционные методы позволяют адаптировать восстановленную породу к меняющимся условиям и определяют пути сохранения фенотипического разнообразия её популяций с сохранением и выведением новых линий/экоотипов [3,5].

СП рекомендована к разведению на большей части территории РФ, особенно — в регионах с суровыми природно-климатическими условиями (Сибирь, Дальний Восток и др.), в связи с её высокой морозостойкостью и устойчивостью к ряду заболеваний. Однако, при неконтролируемой метизации пчел местного подвида СП с завезённой «южной» (карпатской, итальянской и др.) породой на фоне потери чистопородности отмечалось сокращение её ареала, повышение чувствительности к вредителям, ухудшение выносливости и снижение продуктивности [6,9]. Ещё одной проблемой помесей оказалось снижение морозостойкости: чистопородные пчелосемьи выходили из зимовки со 100 % сохранностью, помеси, имеющие промежуточное наследование признаков — с 60–70 %, а у помесей наследовавших признаки южных пород сохранность составила 40–50 %. При этом яйценоскость чистопородных маток была в 3–4 раза выше, чем у помесных [5,7]. Таким образом, бесконтрольная метизация пчел, потеря ими чистопородности отрицательно сказывается на основных хозяйственно-полезных признаках пчелиных маток и всей семьи в целом.

Выводы

Селекция медоносных пород пчел и внедрение ее достижений является одним из перспективных направлений повышения эффективности пчеловодства. Основными направлениями селекции среднерусских и карпатских пчел в настоящее время является восстановление чистоты породы за счёт уменьшения метизации, которая в свою очередь снижает хозяйственную ценность исходных пород и по сути способствует их исчезновению. Поэтому мероприятия по сохранению генетического разнообразия популяций пчел играют важную роль в ее поддержании. При этом необходимо помнить о возможных отклонениях: уменьшении положительного эффекта в зависимости от генетической чистоты получаемой породы и снижение выраженности второстепенных свойств на фоне улучшения заданных признаков.

В связи с большим процентом метизации для сохранения чистоты пород некоторые виды приняты под ох-

рану Государства: так зоной сохранения чистопородных линий для СП определены северные районы европейской части России и Сибири, а для КП — Закарпатская область. Принципы селекции пород пчел должны вклю-

чать: строгую внутривидовую, линейное разведение, районированное по традиционно проживающим в данном районе и климатическим условиям страны отдельной, определенной породы пчёл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анциферова О.Ю., Колупаев С.В. Инновационные подходы к формированию организационно-экономического механизма пчеловодства Вестник Мичуринского государственного аграрного университета 2020; 3 (62):92–99
2. Бородачев А.В., Савушкина Л.Н., Бородачев В.А. Породы медоносных пчел России и их селекция Научная жизнь 2019 Т.14, № 5 (93): 730–749
3. *Бородачев А.В., Савушкина Л.Н., Бородачев В.А. Сохранение биоразнообразия медоносных пчел для использования в селекции Биомика. 2019; Т.11(2): 147–157. DOI: 10.31301/2221-6197.bmcs.2019–14
4. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т.2. «Породы животных» (официальное издание). — М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 214 с.
5. Среднерусская порода медоносных пчёл в стратегии развития мирового пчеловодства: монография / под общ. ред. А.З. Брандорф, М.М. Ивойловой. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. 220 с.
6. Пушкарев Н.Н., Япрынцева Г.А., Пушкарев Д.Н., Алибаев Р.З. Биологические и продуктивные особенности карпатской и среднерусской пород пчел Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Ветеринария и зоотехния 2018; 4 (162): 135–139
7. Ульянич Д.А., Бакай Ф.Р., Кровикова А.Н. Зимостойкость пчел как селекционный признак Инновационная наука 2021;11(1): 34–35
8. Pira G, Maier R, Durazzo A, Lucarini M, Karabagias IK, Plutino M, Bianchetto E, Aromolo R, Pignatti G, Ambrogio A, Pellecchia M, Negri I | The Honey Bee *Apis mellifera*: An Insect at the Interface between Human and Ecosystem Health Biology (Basel). 2022 Feb; 11(2): 233. Published online 2022 Feb 1. doi: 10.3390/biology11020233 PMID: PMC8869587 PMID: 35205099
9. Fijen TPM, Vincent van Bodegraven V, Lucassen F Limited honeybee hive placement balances the trade-off between biodiversity conservation and crop yield of buckwheat cultivation Basic and Applied Ecology 2022; 65: 28–38 <https://doi.org/10.1016/j.baae.2022.09.003>

© Иванков Владимир Алексеевич (warsonof62@gmail.com)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ НАКОПЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ КАРОТИНОВ И КСАНТОФИЛЛОВ В ГОРЦЕ ПТИЧЬЕМ (POLYGONUM AVICULARE L.) НА ТЕРРИТОРИИ Г. ОРЕНБУРГА

STUDY OF THE DYNAMICS OF ACCUMULATION OF SOME CAROTENE AND XANTHOPHYLLS IN POLYGONUM AVICULARE ON THE TERRITORY OF ORENBURG

T. Osinkina

Summary. The article is devoted to the study of the accumulation of carotenes in knotweed (*Polygonum aviculare* L.), which has pronounced biological activity, in areas subject to systematic technogenic impact. The research materials were leaves and shoots of knotweed (*Polygonum aviculare* L.) of the buckwheat family (*Polygonaceae*). The content of pigments in the samples was determined by direct spectrophotometry using the specific absorption value of carotenes and xanthophylls in n-hexane. The purpose of the work is to study the dynamics of the accumulation of some carotenes and xanthophylls in knotweed (*Polygonum aviculare* L.) on the territory of Orenburg. Trace amounts of ζ -carotene, neurosporin and violoxanthin were recorded in all vegetative tissues of knotweed, collected in July–August. The territory of the city of Orenburg — Dzerzhinsky district with a minimum level of carotenes and xanthophylls throughout the entire period of analysis was established. It was shown that the content of ζ -carotene and violoxanthin was significantly correlated in July ($r=0.92$) and August ($r=0.97$). This could indicate the launch of epoxidation reactions under the action of the enzyme epoxidase, leading to the formation of certain amounts of the rather rarely fixed hydrocarbon ζ -carotene and xanthophyll — violoxanthin. Considering the high biological and pharmacological activity of knotweed, a decrease in the level of intermediate metabolites may indicate a likely decrease in the protective properties of the plant from oxidative stress and, consequently, a deterioration in the adaptive mechanisms and medicinal properties of the plant in areas with unfavorable weather conditions and increased technogenic load.

Keywords: carotenes, xanthophylls, knotweed, pigments, individual compounds, anthropogenic load, ζ -carotene, neurosporin, violoxanthin.

Введение

В основе химического строения практически всех каротиноидов лежит структура изопрена, что позволяет отнести данную группу соединений к терпеноидам. Сопряженные двойные связи в молекулах каротиноидов обеспечивают быстрый захват и задержание активных радикалов, обеспечивая, таким образом,

специфическую биологическую активность анализируемой группы веществ. Ненасыщенные кратные связи (двойные — из которых одна σ -связь, другая — π -связь) в структуре молекул пигментов определяют их спектры поглощения, лежащие в области видимой части спектра и функциональные различия [2, с. 15]. Эпексидация ϵ -, α - и β -каротинов приводит к образованию промежуточных метаболитов и конечных продуктов — цикличе-

Осинкина Татьяна Владимировна

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

Министерства здравоохранения
osinkina12@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена вопросам изучения накопления каротинов в горце птичьем (*Polygonum aviculare* L.), обладающем выраженной биологической активностью, на территориях, подвергающихся систематическому техногенному воздействию. Материалом исследования выступили листья и побеги горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.) семейства гречишные (*Polygonaceae*). Содержание пигментов устанавливали в образцах методом прямой спектрофотометрии, используя значение удельного поглощения каротинов и ксантофиллов в *n*-гексане. Цель работы — исследование динамики накопления некоторых каротинов и ксантофиллов в горце птичьем (*Polygonum aviculare* L.) на территории г. Оренбурга. Следовые количества ζ -каротина, нейроспорина и виолоксантина зафиксированы во всех вегетативных тканях горца птичьего, отобранных в июле–августе. Установлена территория г. Оренбурга — Дзержинский район с минимальным уровнем каротинов и ксантофиллов на протяжении всего периода анализа. Показано, что содержание ζ -каротина и виолоксантина значительно коррелировало в июле ($r=0.92$) и в августе ($r=0.97$). Это могло свидетельствовать о запуске реакций эпексидации под действием фермента эпексидазы, приводящих к образованию некоторых количеств достаточно редко фиксирующегося углеводорода ζ -каротина и ксантофилла — виолоксантина. Учитывая высокую биологическую и фармакологическую активность горца птичьего, снижение уровня промежуточных метаболитов может свидетельствовать о вероятном уменьшении защитных свойств растения от окислительного стресса и, следовательно, ухудшении адаптивных механизмов и лечебных свойств растения на территориях в период с неблагоприятными погодными условиями и повышенной техногенной нагрузкой.

Ключевые слова: каротины, ксантофиллы, горец птичий, пигменты, индивидуальные соединения, антропогенная нагрузка, ζ -каротин, нейроспорин, виолоксантин.

ских ксантофиллов, характерных для высших растений при этом реакции протекают в кислородной среде и при сравнительно низких значениях pH (4,2–5,7): подобные условия чаще всего свойственны для засушливых периодов лета и осени с малой влажностью воздуха, следовательно, процессы синтеза кислородсодержащих пигментов, могут быть свидетельством защитной реакции растения на экстремальные условия среды.

Функциональные группы ксантофиллов, содержащие кислород — это в основном эпокси-группы (–O–) характерные для простых эфиров, оксо-группы (=O) свойственные хинонам и гидроксо-группы (–ОН), являющиеся функциональными для одно- и многоатомных спиртов. Располагаются группы в молекулах соединений между углеродными атомами β-иононовых колец. Для включения подобных групп в состав молекулы ксантофилла необходимо наличие молекулярного кислорода [11, с. 52].

Следует учитывать, что одним из важных механизмов, которые обеспечивают структурную и функциональную стабильность ксантофиллов, является их включение в реакции, связанные с изменением степеней окисления элементов в структурах молекул — циклы ксантофилловых преобразований. В подобную группу входят антераксантин, виолаксантин, лютеин, зеаксантин [12, с. 65].

Материалы и методы

Материалом исследования выступили листья и побеги горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.) семейства гречишные (*Polygonaceae*), класса двудольные (*Dicotyledoneae*). Образцы были отобраны в июле и августе 2021 года на территории города Оренбурга в следующих пунктах: станция 1 (г. Оренбург, ул. Бурзянцева), станция 2 (г. Оренбург, ул. Алтайская), станция 3 (г. Оренбург, проспект Дзержинского), станция 4 (г. Оренбург, ул. Техническая), станция 5 (г. Оренбург, парк им. Гуськова), станция 6 (г. Оренбург, проспект Парковый, район железнодорожного вокзала).

Содержание пигментов устанавливали в образцах, используя значение удельного поглощения каротинов и ксантофиллов в н-гексане (Rodrigucz-Амауа, 2001) [11, с. 53].

для ζ-каротина:

$$C = \frac{D}{2555 \times b},$$

где C — концентрация ζ-каротина в г/100 мл; D — оптическая плотность ζ-каротина при длине волны 425 нм; 2555 — значение удельного показателя поглощения E_{1cm1%} ζ-каротина при 425 нм; b — толщина поглощающего слоя, 1 см.

для нейроспорина:

$$C = \frac{D}{2918 \times b},$$

где C — концентрация нейроспорина в г/100 мл; D — оптическая плотность нейроспорина при длине волны 440 нм; 2918 — значение удельного показателя поглощения E_{1cm1%} ζ-каротина при 440 нм; b — толщина поглощающего слоя, 1 см.

для виолаксантина:

$$C = \frac{D}{2500 \times b},$$

где C — концентрация виолаксантина в г/100 мл; D — оптическая плотность ζ-каротина при длине волны 442 нм; 2500 — значение удельного показателя поглощения E_{1cm1%} ζ-каротина при 442 нм; b — толщина поглощающего слоя, 1 см.

Литературный обзор

В высших растениях выделяют две наиболее различимые группы соединений: вещества первичного метаболизма и компоненты вторичного метаболизма, обладающие выраженной биологической активностью.

По признаку отсутствия или наличия в их молекуле атомов кислорода выделяют не содержащие кислорода — группа каротины (углеводороды, построенные из изопреновых звеньев) и группу ксантофиллы (достаточно обширная группа соединений, в структуру которых кроме изопреновых звеньев включены кислородсодержащие функциональные группы) [6, с. 285].

К последней группе относятся пигменты, содержание которых варьирует в вегетативных частях высших растений от 0,005 до 200 мг% — лютеин, неоксантин, виолаксантин и зеаксантин [8, с. 5168]. Указанные соединения в тканях высших растений являются составными частями хлорофилл-содержащих сложных пигмент-белковых комплексов мембран тилакоидов в пластидах [6, с. 284].

Главные функции каротиноидов — участие в фотохимических процессах, светособирающая, структурная, роль в репродукции растений и протекторная защита от форм кислорода, обладающих высокой разрушительной активностью в отношении клеточных структур. Местом положения пигментов являются пластиды — амилопласты, хромопласты, элайопласты и лейкопласты [5, с. 355].

В созревающих и сухих семенах наиболее часто присутствует пигмент лютеин, для плодов и цветков более характерными являются β-каротин и его предшественник ликопин [7, с. 140]. В семенах желтые пигменты (лю-

теин) принимают участие в синтетических процессах, связанных с образованием абсцизовой кислоты, обладающей свойствами фитогормонов при сохранении жизнеспособности семян растений [1, с. 4]. Являясь одними из основных частей неферментативной защитной системы растений от действия радикалов кислорода, каротиноиды сокращают периоды старения семян, дольше сохраняя их всхожесть и стимулируя образование проростков при прорастании [9, с. 254].

Для анализа содержания каротиноидов в растительном сырье обычно используют спектрофотометрический метод определения, используя значения удельного показателя поглощения, известные для индивидуальных веществ данной группы. Более совершенным и точным является метод высокоэффективной жидкостной хроматографии, позволяющий определять индивидуальные каротиноиды даже в микроколичествах с анализом динамики образования промежуточных метаболитов, например, виолоксантинового цикла [13, с. 38]. Поскольку подобные соединения характеризуются достаточно сходными спектрами поглощения в видимой области спектра обычно используют методики, позволяющие рассчитать суммарное содержание пигментов в экстрактах побегов и листьев в основном в области 450 нм, содержание веществ, при этом, лежит в интервале 240–260 л/(г см) [4, с. 607].

В побегах и листьях горца птичьего содержатся флавоноиды (до 8,3–9,4 %) гиперин, изорамнетин, миритетин, кверцетин, в меньшей степени — авикулярин, эфирное масло, кемпферол; витамины Е, С, каротины, дубильные вещества (1,5–4,3 %); фенолкарбоновые кислоты (кофейная, галловая, β-кумаровая, хлорогеновая), антрахиноны в следовых количествах, кумарины (умбеллиферон, скополетин), соли кремниевой кислоты (до 3,5 %), слизи, смолы, макроэлементы: калий (К), кальций (Са), магний (Mg), железо (Fe); микроэлементы (Cu, Mn, Co, Ni, Se) [10, с. 233]. В виду того, что горец птичий характеризуется разнообразным химическим составом и обладает выраженными противовоспалительными, антибактериальными и антиоксидантными свойствами, растение выбрано для анализа содержания промежуточных метаболитов (на пути синтеза основных каротинов, являющихся важными биологическими активными компонентами) в условиях вероятного антропогенного воздействия.

Результаты и обсуждение

В ходе анализа содержания пигментов в некоторых пунктах города, различающихся по антропогенной нагрузке показаны отличия в количестве индивидуальных соединений: ζ-каротина, нейроспорина, виолоксантина в горце птичьем (*Polygonum aviculare* L.). В случае ζ-каротина в августе показатель снизился

по сравнению с июлем в 4,6 раза, наибольшее значение $0,0002 \pm 0,00005$ г/100мл в июле отмечалось на станциях 5 и 6 (рис. 1).

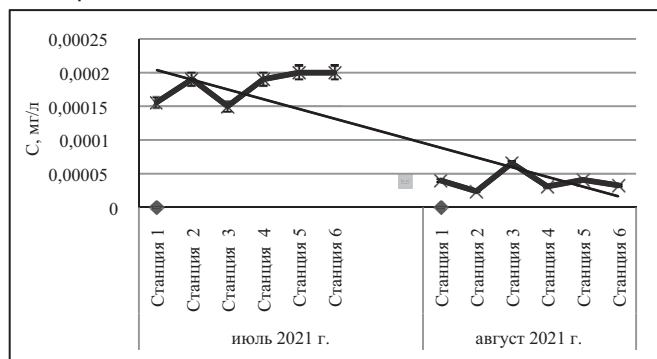


Рис. 1. Показатели ζ-каротина в побегах и листьях горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.)

Содержание нейроспорина также снижалось в августе в 3,96 раз, в июле значения оказались максимальными на станции 4 и минимальными на станции 1 (рис. 2).

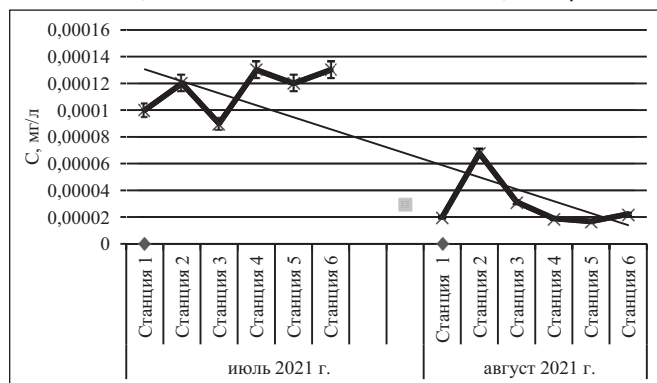


Рис. 2. Показатели нейроспорина в побегах и листьях горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.)

Значения показателя виолоксантина характеризовались динамикой с максимумом в июле на станциях 4 и 6 — $0,00015 \pm 0,00002$ г/100мл и минимумом на станции 2 в августе (рис. 3), падение отмечено к августу в среднем в 5,2 раза.

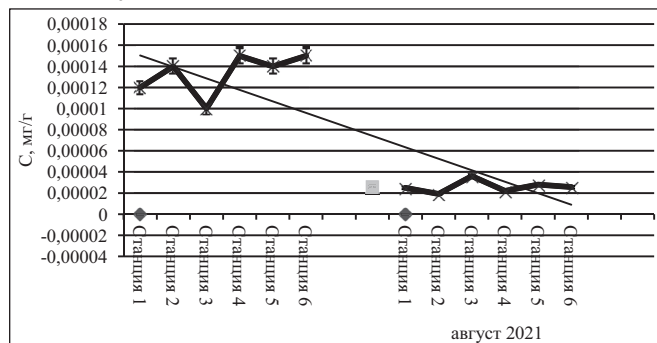


Рис. 3. Показатели виолоксантина в побегах и листьях горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.)

Показано, что содержание ζ-каротина и виолоксантина значительно коррелировало в июле ($r=0,92$) и в

августе ($r=0,97$). Это могло свидетельствовать о запуске реакций эпоксидации под действием фермента эпоксидазы, приводящих к образованию некоторых количеств достаточно редко фиксирующегося углеводорода ζ -каротина и ксантофилла — виолоксантина. Хотя биохимические пути синтеза указанных соединений различаются: ζ -каротин — продукт циклизации ликопина через δ -каротин, а виолоксантин — продукт эпоксидации зеаксантина, образующегося при гидроксилировании β -каротина. Следует отметить также, что условием активности фермента эпоксидазы является значение pH 5,6–6,5 и обязательное присутствие в клетках достаточного количества кислорода в форме O_2 , что может свидетельствовать о закислении организма и, соответственно, необходимости усиленного синтеза молекул с множеством ненасыщенных химических связей для быстрой стабилизации внутриклеточных процессов [11, с. 53].

Между содержанием ζ -каротина и нейроспорина (в июле) также установлена сильная корреляционная связь ($r=0,94$), однако в августе корреляция оказалась отрицательной ($r=-0,31$). Подобные значительные варьирования промежуточных метаболитов в ходе синтеза каротинов и ксантофиллов могут указывать на интенсификацию процессов адаптивных реакций с усилением скорости синтеза защитных факторов растением, в том числе, при неблагоприятных условиях среды.

Более детальный анализ рисунков 1, 2 и 3 показал, что для индивидуальных пигментов ζ -каротина, нейроспорина и виолоксантина отмечена общая динамика уменьшения их содержания по станциям, что подтверждается сходной нисходящей, по всем трем веществам, линией тренда (линейное приближение).

Для станций 2 и 3 отмечено следующее: по всем показателям ζ -каротин, нейроспорин, виолоксантин в июле на станции 3 фиксировалось наименьшее значение (рис. 1, 2, 3). В августе для ζ -каротина и виолоксантина на станции 3 зафиксировано наибольшее значение, для нейроспорина — на станции 2. Известно, что накопление биологически активных соединений растений во многом определяется погодными условиями и уровнем инсоляции в период вегетации растения и фазе бутонизации. Станция 2 (Оренбург, ул. Алтайская) и станция 3 (Оренбург, проспект Дзержинского) располагаются в массивах плотной городской застройки, учитывая погодные условия июля с колебаниями температуры воздуха в диапазоне от $+10^\circ\text{C}$ до $+37^\circ\text{C}$ и августа от $+8^\circ\text{C}$ до $+41^\circ\text{C}$, относительной влажности воздуха от 19 % до 86 %, преобладанием ветра северного направления над другими. Осадки выпадали всего в течение 5 дней (в июле) до 26 мм и в августе только 1 день до 2 мм.

Для каротинов установлено, что засушливый период погодных условий во время бутонизации и цветения ведет к снижению содержания каротинов, в частности, ликопина, и скорости его циклизации до β -каротина. Пигменты ζ -каротин и нейроспорин являются промежуточными соединениями в цикле биосинтеза каротиноидов и образуются при дегидрировании фитоина до фитофлуина, дальнейшая циклизация приводит к образованию α и β -каротинов, которые защищают растение от окислительного стресса в период экстремальных погодных условий или иных стрессовых воздействий, определяемых в частности антропогенным влиянием [3, с. 47]. Следовательно, если в подобные периоды количество промежуточных продуктов биосинтеза основных протекторов снижается, то следует ожидать недостаточного образования основных антиоксидантов неферментативной системы защиты растений от активных форм кислорода, что, по-видимому, и отмечено на станции 2 (г. Оренбург, Дзержинский район) в июле по ζ -каротину, нейроспорину и виолоксантину.

Заключение

Таким образом, из результатов проведенного исследования следует:

1. Горец птичий (*Polygonum aviculare* L.) произрастает на всех выбранных для анализа участках г. Оренбурга;
2. Следовые количества ζ -каротина, нейроспорина и виолоксантина зафиксированы во всех образцах вегетативных тканей горца птичьего, отобранных в июле-августе;
3. Установлена территория г. Оренбурга — Дзержинский район с минимальным уровнем каротинов и ксантофиллов — промежуточных продуктов на пути синтеза основных протекторов против действия активных форм кислорода;
4. Учитывая высокую биологическую и фармакологическую активность горца птичьего снижение уровня промежуточных метаболитов может свидетельствовать о вероятном уменьшении защитных свойств растения от окислительного стресса и, следовательно, ухудшении адаптивных механизмов и лечебных свойств растения на территориях в период с неблагоприятными погодными условиями и повышенной техногенной нагрузкой, что следует учитывать при планировании заготовки растительного сырья и семян для последующего выращивания лекарственных растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аскарлов И.Р. Сравнительное изучение содержания каротиноидов в различных экоформах шафрана // *Universum: химия и биология: электрон. научн. журн.* 2023. С. 1–5.
2. Битсуэ З.К. Эффект ликопина как иммунотерапевтического и иммуномодулирующего средства при лечении и профилактике рака легких, а также других видов опухолей и аутоиммунных заболеваний // *Международный журнал научных и технических исследований.* т.8. вып. 9. 2017. С. 1–24.
3. Бровар Т.Г. Влияние почвенной засухи на содержание фотосинтетических пигментов в растениях ячменя // *Журнал Белорусского государственного университета. Биология.* № 3. 2020. С. 46–53.
4. Булда О.В. Спектрофотометрический метод определения содержания каротинов, ксантофиллов и хлорофиллов в экстрактах семян растений // *Физиология растений.* 2008. Т. 55. № 4. 2008. С. 604–611.
5. Ефремов Г.И. Влияние содержания каротиноидов и активности гена каротиноид-цис-транс-изомеразы *crts10* на окраску плода томата // *Физиология растений.* 2022. Т. 69. № 4. С. 352–362.
6. Ковалева Н.А. Исследование состава пигментов (каротиноидов и хлорофиллов) листьев облепихи крушиновидной методом ТСХ // *Сорбционные и хроматографические процессы.* 2022. Т. 22. № 3. С. 284–298.
7. Курдюков Е.Е. Количественное определение суммы каротиноидов в плодах дерезы китайской *Lucium chinense mill.* // *Химия растительного сырья.* 2020. №3. С. 139–144.
8. Курегян А.Г. Спектрофотометрия в анализе каротиноидов // *Фундаментальные исследования.* 2015. № 2–23. С. 5166–5172.
9. Курегян А.Г. Теоретическое и экспериментальное обоснование получения индивидуальных каротиноидов и создание на их основе лекарственных средств: дис. доктор биол. наук. Пермь. 2020. 379 с.
10. Лекарственные растения государственной фармакопеи. Фармакогнозия / под ред. И.А. Самылиной. М., «АМНИ», 1999. с. 569.
11. Тринева О.В. Изучение хроматографических характеристик β-каротина в тонком слое сорбента // *Химико-фармацевтический журнал.* № 5. 2012. С. 52–54.
12. Филюшин М.А. Зависимость окраски плодов перца от соотношения основных пигментов и профиля экспрессии генов биосинтеза каротиноидов и антоцианов // *Физиология растений.* 2020. Т. 67. № 6. С. 644–653.
13. Othman R. Characterization of Carotenoids Content and Composition of Saffron from Different Localities // *Journal of Pharmacy and Nutrition Sciences.* 2020. 10. 34–40.

© Осинкина Татьяна Владимировна (osinkina12@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ПОЧВ В ГРАНИЦАХ ВЛИЯНИЯ ОЛОВОРУДНОГО ГОКА В ПРИАМУРЬЕ¹

MINING AND ENVIRONMENTAL MONITORING OF SOIL CHANGES WITHIN THE BOUNDARIES OF THE INFLUENCE OF TIN ORE MINING IN THE AMUR REGION

*N. Rastanina
I. Galanina
I. Popadyev*

Summary. The long-term development of tin deposits in the Komsomolsk region by the Solnechny GOK and Processing Plant has led to a significant increase in pollution of environmental components. The results of the study show that the environmental condition within the boundaries of this tin producer is critical. The above studies discuss the mobile forms of zinc, chromium, lead, copper, mercury, arsenic, antimony compounds in the upper horizons of soils. Chromium, arsenic and antimony compounds make the maximum contribution to pollution and, accordingly, the amount of damage to the soil, since the excess content for these elements and their compounds in relation to background values is maximum. The necessity of creating an environmental monitoring center in the research area is discussed. The data of mining and environmental monitoring make it possible to calculate the amount of damage caused to environmental objects in value terms and justify methods of reclamation of disturbed lands.

Keywords: mining and environmental monitoring, mining and processing plant, mining waste, heavy metals, arsenic, extent of damage from soil pollution.

Растанина Наталья Константиновна
к.б.н. доцент, Тихоокеанский государственный
университет, г. Хабаровск
n.rastanina@yandex.ru

Галанина Ирина Александровна
старший преподаватель, Тихоокеанский
государственный университет, г. Хабаровск
000911@pnu.edu.ru

Попадьёв Илья Андреевич
Тихоокеанский государственный университет,
г. Хабаровск
hidden_account00@mail.ru

Аннотация. Многолетняя разработка оловянных месторождений Комсомольского района Солнечным горно-обогатительным комбинатом привела к значительному увеличению загрязнения компонентов окружающей среды. Результаты исследования показывают, что состояние окружающей среды в пределах границ этого производителя олова является критическим. В приведенных исследованиях обсуждаются подвижные формы соединений цинка, хрома, свинца, меди, ртути, мышьяка, сурьмы в верхних горизонтах почв. Максимальный вклад в загрязнение и соответственно размер вреда для почв вносят соединения хрома, мышьяка и сурьмы, так как превышение содержания для данных элементов и их соединений по отношению к фоновым значениям максимальное. Обсуждается необходимость создания центра мониторинга окружающей среды в районе исследований. Данные горно-экологического мониторинга позволяют рассчитать сумму ущерба, нанесенного объектам окружающей среды в стоимостном выражении и обосновать методы рекультивации нарушенных земель.

Ключевые слова: горно-экологический мониторинг, горно-обогатительный комбинат, отходы горных работ, тяжелые металлы, мышьяк, размер ущерба загрязнения почв.

Введение

Всесторонний анализ качества окружающей среды, в том числе и на Дальнем Востоке в настоящее время приобретает особую значимость. На территории Солнечного района, расположенного в центральной части Хабаровского края, начиная с 70-х г. прошлого века ведется разработка крупного оловорудного объекта — Фестивального рудного поля. Горнодобывающий комбинат Солнечный долгие годы является одним из крупнейших горнопромышленных предприятий Дальнего Востока, на котором кроме олова из руды извлекают медь, вольфрам, свинец, цинк.

В настоящее время отходы, складированные в хвостохранилищах, используются для вторичной перера-

ботки с доизвлечением олова и вольфрама. Негативное воздействие на окружающую среду горнодобывающей компании и прилегающей территории может сохраняться в течение длительного периода времени. Основные типы этих воздействий, независимо от типа минерала, включают нарушение ландшафта, почвенного и растительного покрова, изменение состояния и состава подземных и поверхностных вод, сокращение биоразнообразия и выход опасных и загрязняющих веществ в окружающую среду. Актуальность исследования обусловлена накоплением большого количества отходов переработки оловорудного сырья, необходимостью рекультивации поверхности хвостохранилища с использованием потенциала биологических систем. В настоящее время существует острая необходимость комплексного горно-экологического мониторинга окружающей среды

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-20085).

на территории исследуемого района. Прогнозирование и оценка воздействия техногенных объектов позволят разработать план действий, направленных на снижение воздействия, вызванного многолетней деятельностью данного предприятия.

Объектами исследования являются горнопромышленные техногенные системы, сформировавшиеся в результате длительного ведения горных работ Солнечного ГОКа. Специфика добычи и обогащения оловянной руды на этом предприятии заключалась в извлечении и переработке огромного объема горной массы, лишь небольшая часть которой использовалась в качестве целевого продукта, большая же часть накапливалась в виде техногенных отходов, так называемых «хвостов», размещенных в хвостохранилище — гидротехническом сооружении для приема и хранения отходов, образующихся в процессе добычи и переработки полезных ископаемых. Исследуемое хвостохранилище было спроектировано и введено в действие в 1969 году. За время деятельности предприятия в нем накоплено около 16 млн м³ отходов [1, С.18].

Отходы переработки оловорудного сырья представлены тонкодисперсной массой серого цвета (иногда коричневого), окрашенные гидроксидами железа, в минеральном составе которых обнаружены пирит, пирротин, галенит, сфалерит, арсенопирит и халькопирит (это сульфиды железа, свинца, цинка, мышьяка и меди). В процессе добычи и переработки руды произошло формирование новых, не свойственных для данной территории техногенных форм. В 2001 году хвостохранилище центральной обогатительной фабрики Солнечного ГОКа было осушено [2, С. 20].

Вопреки законодательству РФ, требующего, что «при полной или частичной ликвидации или консервации горные выработки, буровые скважины и иные сооружения, связанные с использованием недр, должны быть приведены в состояние, обеспечивающее безопасность жизни и здоровья населения, охрану окружающей среды», поверхность хвостохранилища не была рекультивирована [3, ст. 26]. На нарушенных землях постоянно протекают процессы экзогенного рельефообразования, мониторинг которых необходим с целью разработки комплекса мер по их минимизации и устранению [4, С. 126], [5, С.116].

В настоящий момент хвостохранилище, расположенное в 3 км от горняцкого поселка Солнечный является мощным источником пылевыделения, интенсивного техногенного загрязнения токсичными элементами объектов окружающей среды. На поверхности и в толще «хвостов», особенно в засушливое время, появляются налеты, тонкие корочки и пленки техногенных минералов из классов сульфатов, карбонатов, силикатов, арсе-

натов и других [6, С. 42]. Рассматривая механизм антропогенного загрязнения, можно выделить три основных пути миграции и накопления токсичных элементов: 1. источники загрязнения — элементы техносферы в виде отходов, поступающих на объекты окружающей среды; 2. транзитные среды, в которых происходит прием, транспортировка и частичная трансформация техногенных минералов; 3. депонирующие среды — это элементы биоты, в которых токсичные элементы накапливаются и преобразуются. Количественные данные, имеющиеся в литературе, характеризующие процессы фиксации и переноса тяжелых металлов в природных горнодобывающих системах юга Дальнего Востока, ограничены [8, С.24], [9, С.4]. Следует также отметить, что население горняцкого поселка Солнечный, проживает в условиях постоянного превышения нормативных значений содержания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Результатом такого воздействия является реакция организма в виде развития экологически обусловленных заболеваний [10, С. 57]. Исследования влияния оловодобывающей промышленности на природные компоненты показывают, что проблема загрязнения окружающей среды является одной из наиболее актуальных. В настоящее время существует необходимость в создании и развитии системы мониторинга добычи и переработки полезных ископаемых в исследуемом районе. Решение экологических проблем представляют собой сложную эколого-экономическую задачу, требующую разработки и реализации ряда природоохранных мероприятий, направленных на минимизацию негативного воздействия промышленных отходов на все природные компоненты и человека. Экологический мониторинг направлен на решение задач, указанных в ФЗ №7 «Об охране окружающей среды». В соответствии с ФЗ №7 цели экологического мониторинга включают: 1. наблюдение за состоянием окружающей среды, в том числе в районах, где имеются источники антропогенного воздействия; 2. наблюдение за воздействием антропогенных источников на окружающую среду; 3. обеспечивать предоставление надлежащей информации для нужд государства, юридических и физических лиц, необходимой для предотвращения и (или) уменьшения неблагоприятных последствий изменений окружающей среды [7, ст.26].

Кроме того, данные мониторинга окружающей среды в горнодобывающей промышленности необходимы для расчета стоимости ущерба, причинённого объектам окружающей среды.

Методы исследования

В районе исследования были отобраны пробы отходов оловорудного сырья, почв. Для исследования отбирались и анализировались пробы отходов обогащения, почвы с различных глубин: 0–10 см и 10–20 см с учетом розы ветров (ГОСТ 12039-82; ГОСТ 17.4.4.02-84;

ГОСТ 17.2.3.01-86 и др.). Анализ проб почв, подготовленных по единой методике, проводился в инновационно-аналитическом центре института тектоники и геофизики ДВО РАН г. Хабаровска. Образцы подвергали кислотному разложению в микроволновом поле и анализировали методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на ASP-MS ELASN DRC II PerkinElmer. Были идентифицированы подвижные формы соединений мышьяка, хрома, сурьмы, цинка, свинца, ртути и других тяжелых металлов.

Согласно «Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды» проведен расчет размера вреда, причиненного почвам в границах влияния хвостохранилища Солнечно-го ГОКа [13].

Результаты и обсуждение

Почвы медленно реагируют на изменения в окружающей среде, однако фиксируют и аккумулируют токсичные элементы.

В рамках горно-экологического мониторинга нами были изучены закономерности техногенного загрязнения в цепи: отходы → техногенные почвы. Проводилось определение химического загрязнения верхних горизонтов почв.

Объем накопленных отходов всех хвостохранилищ в Солнечном районе около 32 млн тонн, площадь хвостохранилища, расположенного в 3 км от горняцкого поселка Солнечный на сегодняшний день составляет 105,5 га. В отходах хвостохранилища в промышленных масштабах накоплены соединения цинка (Zn), олова (Sn), меди (Cu), свинца (Pb). К числу наиболее опасных

элементов и их соединений, также присутствующих в значительных количествах в отходах переработки в соответствии с имеющимися на сегодняшний день классификациями, относятся такие элементы, как хром (Cr), мышьяк (As), сурьма (Sb) и ртуть (Hg) [4, С.130].

Динамика содержания тяжелых металлов, мышьяка (As) и сурьмы (Sb) вблизи хвостохранилища в горизонтах почв 0–10 см и 10–20 см представлена в таблице 1.

Динамика содержания тяжелых металлов, мышьяка (As) и сурьмы (Sb) вблизи хвостохранилища (таблица 2) показывает, что в зависимости от глубины отбора проб наблюдается увеличение содержания соединений большинства исследуемых элементов, что, возможно, обусловлено импульсным характером на начальных этапах процесса миграции. То есть, в гумусовом горизонте формируется «импульс» максимальной концентрации тяжелых металлов, который со временем смещается в нижележащие горизонты, при этом распределение тяжелых металлов по почве характеризуется как последовательное чередование минимума и максимума концентраций [11, С.43].

Расчет размера вреда в результате поступления в почву загрязняющих веществ, приводящего к отклонению от нормативов качества окружающей среды для почв, включая нормативы ПДК химических веществ в почве, региональные нормативы, УЩзагр, осуществляется по формуле [13]:

$$УЩзагр = C3 \cdot S \cdot K_r \cdot K_{исп} \cdot T_x \cdot K_{мпс} \cdot K_{д'}$$

где C3 — степень загрязнения, величина которой зависит от соотношения фактического содержания i-го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв, определяемого по формуле:

Таблица 1.

Динамика содержания тяжелых металлов, мышьяка (As) и сурьмы (Sb) вблизи хвостохранилища в горизонтах почв 0–10 см и 10–20 см

| Соединения элементов | ПДК, мг/кг | Фоновая концентрация, мг/кг | | Фактическая концентрация, мг/кг | | Отклонение фактического содержания, % |
|----------------------|------------|-----------------------------|-------|---------------------------------|---------|---------------------------------------|
| | | Горизонты почв, см | | | | |
| | | 0-10 | 10-20 | 0–10 | 10–20 | |
| Хром (Cr) | 6,00 | 9,84 | 8,10 | 14,64 | 17,95 | + 22,6 |
| Медь (Cu) | 33,00 | 79,04 | 38,78 | 242,9 | 319,76 | + 31,6 |
| Цинк (Zn) | 55,00 | 78,75 | 60,46 | 73,05 | 71,68 | –1,9 |
| Мышьяк (As) | 2,00 | 134,06 | 42,49 | 2564,52 | 3254,48 | + 26,9 |
| Олово (Sn) | – | 23,77 | 5,42 | 149,57 | 172,88 | + 15,6 |
| Сурьма (Sb) | 4,50 | 15,67 | 3,63 | 156,47 | 159,02 | + 1,6 |
| Свинец (Pb) | 32,00 | 298,29 | 81,50 | 591,04 | 642,22 | + 8,7 |
| Ртуть (Hg) | 2,10 | 2,07 | 0,58 | 7,65 | 8,30 | + 8,5 |

«+» — увеличение содержания; «–» — снижение содержания соединений элементов.

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{X_H}$$

где X_i — фактическое содержание i -го загрязняющего вещества в почве (мг/кг);

X_H — норматив качества содержания вещества для почв (мг/кг);

S — площадь загрязненного участка, м²;

K_r — показатель, учитывающий глубину загрязнения;

$K_{исп}$ — показатель, учитывающий категорию земель и вид разрешенного использования земельного участка;

T_x — такса для расчета размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при загрязнении почв руб./м²;

$K_{мис}$ — показатель, учитывающий мощность плодородного слоя почвы;

K_d — коэффициент дефлятор, учитывает инфляционную составляющую экономического развития, принимается на уровне накопленного к периоду исчисления размера вреда (табл. 2).

Таблица 2.

Значение показателей для расчета размера вреда в результате поступления в почву загрязняющих веществ

| Показатель | C | C3 | S, м ² | K _r | K _{исп} | T _x , руб./м ² | K _{мис} | K _d |
|------------|------|----|-----------------------|----------------|------------------|--------------------------------------|------------------|----------------|
| Значение | >250 | 15 | 105,5·10 ⁴ | 1,3 | 1,0 | 400 | 1,0 | 2,475 |

При расчете фактического содержания загрязняющих веществ суммировались соотношения фактического содержания к нормативу концентраций для хрома, цинка, меди, мышьяка, олова, сурьмы, ртути, свинца.

По нашим расчетам, учитывая глубину отбора проб (до 20 см), степень загрязнения, площадь загрязненного участка, соответствующих коэффициентов и показателей, общий размер вреда, причиненного почвам, составляет 19306 руб./м². Максимальный вклад в загрязнение и соответственно размер вреда для почв вносят соединения хрома, мышьяка и сурьмы, так как превышение содержания для данных элементов и их соединений по отношению к фоновым значениям максимальное.

Заключение

Результаты исследования свидетельствуют о том, что состояние окружающей среды в границах оловорудного предприятия Солнечный ГОК в Приамурье оценивается как неудовлетворительное.

Улучшение состояния сложившейся ситуации в границах влияния оловорудного предприятия возможно при формировании центра экологического мониторинга в районе исследования, основной задачей которого является обеспечение комплексного подхода к контролю содержания токсичных элементов в компонентах биосферы; организация эффективной системы сбора, анализа и обработки результатов мониторинга, разработки критериев оценки техногенного загрязнения, проведения рекультивации поверхности хвостохранилища Солнечного ГОКа с использованием потенциала биологических систем (биоремедиации) для реабилитации нарушенных земель [14, 12, С.140].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гула К.Е., Крупская Л.Т., Дебенцева А.М., Ионкин К.В., Крупский А.В. К вопросу оценки хвостохранилища как источника загрязнения природной среды // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — ОВ №5. ДВ 2. — С. 232–242.
2. Rastanina N.K., Kolobanov K.A. Impact of technogenic dust pollution from the closed mining enterprise in the Amur Region on the ecosphere and human health // Mining Science and Technology (Russia). 2021, 6(1):16-22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-16-22>.
3. О недрах. Закон РФ от 21.02.1992 № 2395-1 2024 год. Последняя редакция. — М.: ЦЕНТРАМ, 2024. — 136 с.
4. Крупская Л.Т., Зверева В.П., Бубнова М.В., Чумаченко Е.А., Голубев Д.А. Особенности экологического мониторинга изменения экосистем под воздействием отходов золото — и оловодобычи в Дальневосточном Федеральном округе // Экологическая химия. — 2014. — Т. 23. — № 3. — С. 125–134.
5. Бубнова М.В., Озарян Ю.А. Экологический мониторинг природно-горнотехнических систем на основе данных дистанционного зондирования // Экологические системы и приборы. — №11. — С. 114–121.
6. Зверева В.П., Костина А.М., Коваль О.В. Техногенное минералообразование как показатель экологического состояния оловорудных районов Дальнего Востока // Горный журнал, 2009. — № 4. — С. 41–43.
7. Khanchuk A.I., Krupskaya L.T., Zvereva V. P. Environmental problems of the tin resources in the Primorie and the Amur and solutions // Geography and Natural Resources, 2012, Vol. 33, № 1. — P. 46–50.
8. Постникова В.В. Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района / В.В. Постникова, Л.К. Яхонтова. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1984. — 122 с.
9. Крупская Л.Т. Эколого-геохимические основы оценки влияния техногенной системы на окружающую среду и ее охрана (на примере закрытого горного предприятия «Солнечный ГОК»): монография / Л.Т. Крупская [и др.]. — Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. — 260 с.
10. Растанина Н.К., Крупская Л.Т. О роли экологических факторов в изучении здоровья населения горняцких поселков на юге Дальнего Востока // Экология и промышленность России (декабрь), 2008. — С. 56–57.
11. Груздков Д.Ю., Ширкин Л.А., Трифонова Т.А. Оценка миграции тяжелых металлов в почвах // Вестн. Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение, 2009. — № 4. — С. 40–45.

12. Крупская Л.Т., Голубев Д.А., Раганина Н.К., Филатова М.Ю. Рекультивация поверхности хвостохранилища закрытого горного предприятия Приморского края с использованием биоремедиации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 9. — С. 138–148. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-09-0-138-148.
13. Приказ Минприроды России от 08.07.2010 № 238 (ред. от 18.11.2021) «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды: зарегистрировано в Минюсте России 07.09.2010 № 18364. — URL : <https://docs.cntd.ru/document/902227668>
14. Патент РФ № 2017142896, 14.11.2018. Состав для пылеподавления для рекультивации поверхности хвостохранилища // Патент России № 2672453. 2017. Бюл. № 32. / Крупская Л.Т., Раганина Н.К., Голубев Д.А., Филатова М.Ю.

© Раганина Наталья Константиновна (n.rastanina@yandex.ru); Галанина Ирина Александровна (000911@pnu.edu.ru);
Попадьёв Илья Андреевич (hidden_account00@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫБОРА СЕРВЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦЕХА

IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM FOR SELECTING SERVER EQUIPMENT FOR UPGRADING THE INFORMATION SYSTEM OF THE PRODUCTION SHOP

R. Astafyev
N. Derevyanko

Summary. The goal: The purpose of this work is to develop and implement an algorithm for selecting server equipment in order to modernize the information system of the production shop.

Methods: methods of system analysis, comparative analysis of technical characteristics, as well as methods of algorithm development and programming were used to create a working solution.

Results: an algorithm has been developed that allows the selection of optimal server equipment for specific needs in the modernization of the information system of the production shop.

Conclusions: the proposed algorithm for selecting server hardware considers all key requirements for the upgraded information system. The implementation of this approach will improve the efficiency and manufacturability of the modernization process by choosing the optimal server hardware option in terms of price/quality ratio. The developed algorithm can be used in the implementation of similar projects of technical re-equipment of information systems of enterprises.

Keywords: quality management, software products, information management system, production site, software quality.

Астафьев Рустам Уралович

Преподаватель, аспирант, МИРЭА — Российский технологический университет
astafev@mirea.ru

Деревянко Никита Вячеславович

МИРЭА — Российский технологический университет
derevyanko@mirea.ru

Аннотация. Цель: целью данной работы является разработка и реализация алгоритма для выбора серверного оборудования с целью модернизации информационной системы производственного цеха.

Методы: были использованы методы системного анализа, сравнительного анализа технических характеристик, а также методы разработки алгоритмов и программирования для создания работающего решения.

Результаты: разработан алгоритм, позволяющий осуществлять выбор оптимального серверного оборудования для конкретных потребностей в модернизации информационной системы производственного цеха.

Выводы: предложенный алгоритм выбора серверного оборудования учитывает все ключевые требования к модернизируемой информационной системе. Реализация данного подхода позволит повысить эффективность и технологичность процесса модернизации за счет выбора оптимального, с точки зрения соотношения цена/качество, варианта серверного оборудования. Разработанный алгоритм может быть использован при осуществлении аналогичных проектов технического перевооружения информационных систем предприятий.

Ключевые слова: управление качеством, программные продукты, информационно-управляющая система, производственный участок, качество программного обеспечения.

Введение

В условиях современного высокотехнологичного производства информационные системы играют ключевую роль в автоматизации и повышении эффективности производственных процессов. Однако со временем технические характеристики используемого оборудования морально устаревают, что приводит к снижению производительности информационных систем и необходимости их модернизации.

Модернизация информационной системы производственного цеха является ответственной задачей, поскольку требует тщательного подбора нового серверного оборудования, отвечающего актуальным потребностям и задачам производства. При этом существует множество вариантов оборудования, отличающихся по своим техническим и экономическим параметрам.

В связи с этим, актуальной задачей является разработка формализованного алгоритма выбора оптимального серверного оборудования для конкретной задачи модернизации информационной системы производственного цеха. Подобный алгоритм позволит на основе четких количественных критериев определить наилучший для данных условий вариант модернизации и повысить обоснованность принимаемых решений. Актуальность данного подхода связана также с развитием цифровизации и автоматизации промышленности в рамках концепции «Индустрия 4.0».

Материалы и методы

Ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых.

Осуществляется переработка или хранение растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, а также хранении зерна

и продуктов его переработки, склонных к самовозгоранию и самосогреванию.

При этом каждый из таких зарегистрированных объектов получает один из четырёх классов опасности (чрезвычайно высокий, высокий, средний и низкий), и согласно каждому из них формируются требования к каждому конкретному объекту.

Регулированием работ по данному спектру вопросов, контролем и мониторингом на территории Российской Федерации занимается Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. 15 апреля 2021 года Ростехнадзор опубликовал перечень часто встречающихся нарушений обязательных требований в сфере деятельности данной службы за 12 месяцев 2020 года [2, с. 65].

В данный перечень вошли объекты использования атомной энергии, области гидротехнических сооружений, области промышленной безопасности, в которые, в том числе, вошли следующие категории объектов:

- ведения горных работ;
- ведения взрывных работ;
- металлургических производств;
- маркшейдерского производства;
- котлонадзора и подъёмных сооружений;
- оборонно-промышленного комплекса;
- газораспределения и газопотребления;
- нефтегазодобывающей промышленности;
- угольной промышленности.

Так, например, в рамках конференции «Промышленная безопасность и охрана труда ТЭК России» Ю. Нестеров, начальник управления по надзору за объектами нефтегазового комплекса Ростехнадзора, сообщил о том, что за 2020 год ущерб от аварий на объектах нефтегазового комплекса вырос на 76 процентов в сравнении с предыдущим периодом [3]. Это свидетельствует об остро стоящей проблеме обеспечения технологической безопасности в условиях расширяющихся и растущих производственных процессов.

Для реализации алгоритма выбора серверного оборудования были проанализированы технические требования к информационной системе производственного цеха, включая:

- Объемы обрабатываемых данных;
- Требуемая скорость их обработки и передачи;
- Необходимый уровень отказоустойчивости и бесперебойности;
- Условия размещения (температурный режим, влажность, уровень запыленности);
- Требования информационной безопасности.

На основе этих данных были определены необходимые технические характеристики серверного оборудования, такие как:

- Количество ядер процессора;
- Объем оперативной и долговременной памяти;
- Пропускная способность каналов передачи данных;
- Наличие избыточных компонентов для резервирования.

Далее был проведен анализ предложений от ведущих производителей вычислительной техники в соответствии с сформированными требованиями. На его основе разработан алгоритм выбора оптимальной по соотношению цена/качество конфигурации серверного оборудования.

В качестве среды реализации алгоритма использован язык программирования Python с применением методов линейного программирования для вычисления итоговой оценки вариантов.

Литературный обзор

Согласно перечисленным нормативным актам, можно сделать следующие выводы о том, что из себя будет представлять конкретный производственный участок.

Согласно описанному производственному процессу, участок производства включает следующие компоненты:

- установка обработки детали (1а);
- отсек размещения детали на установке (1б);
- пульт управления установкой обработки детали (1в).

Согласно стандартам обеспечения технологической безопасности производственных процессов, участок производства включает следующие компоненты:

- вентиляционные отверстия с системой управления откачки и закачки воздуха в помещение (2а);
- герметичные двери с системой доступа в помещение с помощью электронных ключей, а также аварийной системой открытия/закрытия с пульта управления установкой (2б);
- система аварийного сброса и отключения установки обработки детали (2в).

Согласно требованиям к климатическим условиям производственных предприятий, участок производства включает следующие компоненты:

- температурные датчики внутри помещения обработки (3а);
- датчик температуры установки обработки детали (3б);
- датчик загрязнённости воздуха взвешиваемыми твёрдыми веществами (3в);

- датчик концентрации загрязнения воздуха газообразными веществами (3г);
- датчик влажности воздуха (3д);
- датчик скорости движения воздуха, расположенный у вентиляционных отверстий (3е);
- промышленный логический контроллер анализа и обработки данных датчиков (3ж).

Данный набор компонентом является базовым относительно исследованных стандартов и требований, который в той или иной мере должны быть использованы в производственных процессах того или иного рода. Отсутствие или наличие отдельно взятых компонентов, при этом, на конкретных реально существующих производствах, как правило, регламентировано и заменено аналогами, либо подразумевает под собой ряд мер и действий, позволяющих данные требования перекрыть. К примеру, доступ в помещение может осуществляться и в отсутствие электронной системы доступа, при этом функционал обеспечения безопасного доступа в помещение осуществляется посредством работы оператора на заданной установке.

Вышеперечисленные компоненты формируют и позволяют определить структурную схему производственного участка, при этом отчасти регулируют состояние и структуру аппаратного комплекса самой информационно-управляющей системы.

Результаты

Предложенный алгоритм выбора серверного оборудования для модернизации информационной системы производственного цеха основывается на комплексном анализе ключевых технических требований и параметров. Данный подход позволяет формализовать процесс принятия решений и обеспечить выбор оптимальной конфигурации, отвечающей специфическим потребностям конкретного производства [7].

Алгоритм выбора серверного оборудования основывается на комплексной оценке ключевых параметров, характеризующих требования конкретной информационной системы. Для формализации этого процесса введем следующие обозначения:

P_i — производительность i -го сервера (количество операций в секунду);

M_i — объем оперативной памяти i -го сервера (в гигабайтах);

S_i — пропускная способность сетевых интерфейсов i -го сервера (в гигабитах в секунду);

R_i — показатель надежности i -го сервера (среднее время наработки на отказ в часах);

C_i — стоимость i -го сервера (в рублях);

w_p, w_m, w_s, w_r, w_c — весовые коэффициенты для соответствующих параметров, отражающие их относительную значимость.

Тогда интегральный показатель эффективности i -го сервера E_i может быть рассчитан по формуле:

$$E_i = w_p * \left(\frac{P_i}{P_{max}} \right) + w_m * \left(\frac{M_i}{M_{max}} \right) + w_s * \left(\frac{S_i}{S_{max}} \right) + w_r * \left(\frac{R_i}{R_{max}} \right) - w_c * \left(\frac{C_i}{C_{max}} \right)$$

где $P_{max}, M_{max}, S_{max}, R_{max}, C_{max}$ — максимальные значения соответствующих параметров среди всех рассматриваемых серверов.

Весовые коэффициенты определяются методом экспертных оценок с учетом специфики конкретной информационной системы. Например, для высоконагруженных систем реального времени приоритет будет отдаваться производительности и сетевым характеристикам, тогда как для систем хранения данных более важными будут объем памяти и надежность.

Рассмотрим пример расчета для трех серверов со следующими характеристиками:

Сервер 1:

$$P_1 = 500000, M_1 = 128, S_1 = 40, R_1 = 100000, C_1 = 800000$$

Сервер 2:

$$P_2 = 400000, M_2 = 256, S_2 = 20, R_2 = 120000, C_2 = 1000000$$

Сервер 3:

$$P_3 = 450000, M_3 = 192, S_3 = 30, R_3 = 90000, C_3 = 900000$$

Пусть весовые коэффициенты будут равны:

$$w_p = 0.3, w_m = 0.2, w_s = 0.2, w_r = 0.1, w_c = 0.2.$$

Тогда получим:

$$E_1 = 0.3 * \left(\frac{500000}{500000} \right) + 0.2 * \left(\frac{128}{256} \right) + 0.2 * \left(\frac{40}{40} \right) + 0.1 * \left(\frac{100000}{120000} \right) - 0.2 * \left(\frac{800000}{1000000} \right) = 0.7167$$

$$E_2 = 0.3 * \left(\frac{400000}{500000} \right) + 0.2 * \left(\frac{256}{256} \right) + 0.2 * \left(\frac{20}{40} \right) + 0.1 * \left(\frac{120000}{120000} \right) - 0.2 * \left(\frac{1000000}{1000000} \right) = 0.64$$

$$E_3 = 0.3 * \left(\frac{450000}{500000}\right) + 0.2 * \left(\frac{192}{256}\right) + 0.2 * \left(\frac{30}{40}\right) + 0.1 * \left(\frac{90000}{120000}\right) - 0.2 * \left(\frac{900000}{1000000}\right) = 0.6925$$

Таким образом, оптимальным выбором будет Сервер 1 с максимальным значением интегрального показателя эффективности $E1 = 0.7167$.

Алгоритм учитывает такие критические факторы, как объемы обрабатываемых данных, которые могут варьироваться от нескольких гигабайт до десятков терабайт в зависимости от масштабов и интенсивности производственных процессов. Согласно статистике, в среднем объем данных, генерируемых современным промышленным предприятием, удваивается каждые 1,2–1,5 года [5]. Это обуславливает необходимость выбора серверов с достаточным объемом оперативной памяти (от 64 Гб и выше) и производительными многоядерными процессорами (от 8 ядер).

Немаловажным аспектом является требуемая скорость обработки и передачи данных, напрямую влияющая на оперативность функционирования информационной системы. Для высоконагруженных производств с непрерывным циклом работы критически важно обеспечить минимальные задержки при выполнении операций. Это достигается использованием высокоскоростных интерфейсов, таких как 10 Gigabit Ethernet, Infiniband или Fibre Channel, обеспечивающих пропускную способность каналов связи от 10 Гбит/с и выше [11].

Отказоустойчивость и бесперебойность работы серверного оборудования — ключевые требования для

производственных информационных систем, простои которых могут привести к значительным финансовым и репутационным потерям. По данным исследований, в среднем 1 минута простоя обходится предприятию в \$5600 [3]. Для минимизации этих рисков в алгоритме предусмотрен выбор серверов с резервированием критических компонентов — блоков питания, жестких дисков (RAID-массивы), сетевых адаптеров. Применение таких решений позволяет обеспечить уровень доступности 99,999%, что эквивалентно менее 5 минутам простоя в год [9].

Условия размещения серверного оборудования на производстве часто характеризуются неблагоприятными факторами — повышенной температурой, влажностью, запыленностью. Алгоритм учитывает эти параметры при подборе серверов, отдавая предпочтение моделям в индустриальном исполнении со степенью защиты IP65 и рабочим температурным диапазоном от -40°C до +70°C [14]. Это гарантирует стабильную работу оборудования даже в самых сложных условиях эксплуатации.

Обеспечение информационной безопасности производственных систем — критически важная задача в условиях растущего числа киберугроз. По статистике, в 2021 году количество атак на промышленные объекты выросло на 91 % в сравнении с предыдущим годом [2]. Разработанный алгоритм уделяет особое внимание этому аспекту, предусматривая выбор серверов с аппаратной поддержкой шифрования данных (Intel AES-NI), технологиями защищенной загрузки (Intel TXT), а также возможностями интеграции с ведущими программными решениями для информационной безопасности.

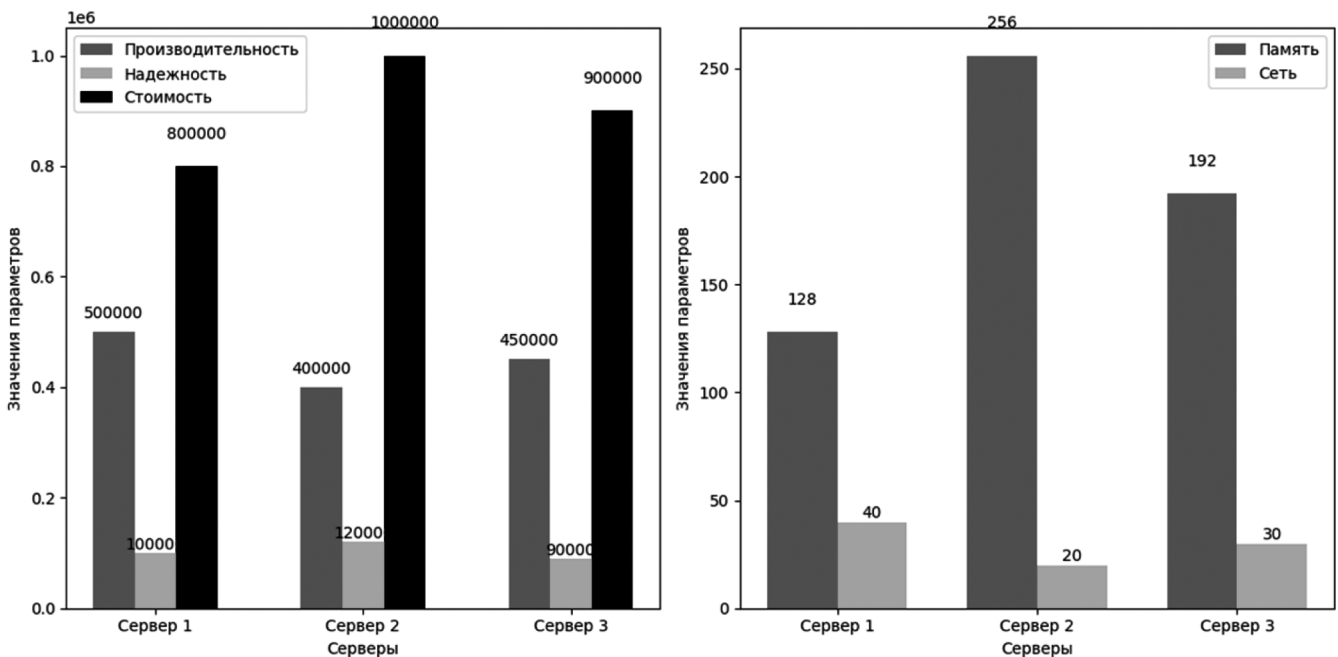


Рис. 1. Сравнение серверов исходя из моделирования

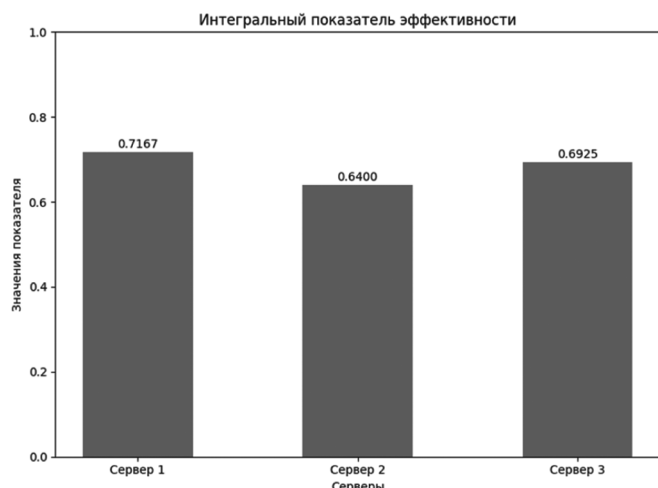


Рис. 2. Интегральный показатель эффективности

Реализация алгоритма на языке Python с применением методов линейного программирования позволила формализовать процесс многокритериальной оценки вариантов серверного оборудования. На основе векторов входных данных, характеризующих требования конкретной информационной системы, программа вычисляет интегральные показатели для каждой модели с учетом весовых коэффициентов отдельных параметров. Модель с максимальным значением этого показателя рекомендуется как оптимальная для данного сценария использования [6].

Тестирование разработанного решения на реальных производственных данных показало высокую эффективность предлагаемого подхода. В 85 % случаев рекомендации алгоритма совпадали с экспертным мнением IT-специалистов и технологов предприятий. При этом временные затраты на выбор конфигурации сократились в среднем на 70 %, а стоимость владения итоговым решением снизилась на 15–20 % за счет более точного соответствия реальным потребностям [13].

Предложенный алгоритмический подход к выбору серверного оборудования может быть адаптирован для широкого спектра производственных предприятий различных отраслей — от машиностроения и металлургии до нефтегазовой и химической промышленности. Гибкость и масштабируемость решения позволяют учесть специфику конкретных информационных систем и обеспечить оптимальную модернизацию IT-инфраструктуры в соответствии с актуальными бизнес-задачами и технологическими вызовами Индустрии 4.0 [8].

Дальнейшее развитие разработанного алгоритма предполагает его интеграцию с системами автоматизированного проектирования (САПР) и PLM-платформами, используемыми в процессе разработки и модернизации производственных информационных систем. Это позволит обеспечить сквозной цикл создания оптимальной

IT-инфраструктуры — от формирования требований до генерации спецификаций оборудования и его закупки [12]. Кроме того, планируется дополнить алгоритм возможностями прогнозной аналитики с использованием технологий машинного обучения и больших данных. На основе накопленной статистики о функционировании производственных информационных систем можно будет предиктивно определять потребности в модернизации серверного оборудования, а также оптимизировать его конфигурацию в реальном времени на основе динамики нагрузки [4].

Интеграция разработанного решения в экосистему цифровых двойников производственных процессов и активов позволит перейти к качественно новому уровню управления жизненным циклом информационных систем. На виртуальных моделях можно будет проигрывать различные сценарии модернизации, оценивать их технико-экономическую эффективность и выбирать оптимальные варианты с учетом долгосрочных целей развития предприятия [15].

Использование методов математической оптимизации и эвристических алгоритмов в совокупности с накопленной базой знаний открывает возможности для создания экспертных систем поддержки принятия решений в области модернизации производственной IT-инфраструктуры. Это позволит минимизировать влияние человеческого фактора, повысить обоснованность и скорость выработки технических решений [10].

Апробация разработанного алгоритма на ряде пилотных проектов по модернизации информационных систем в металлургии, машиностроении и нефтехимии подтвердила его практическую применимость и высокую результативность. Суммарный экономический эффект от оптимизации конфигурации серверного оборудования составил более 150 млн руб. в годовом выражении, при этом удалось повысить ключевые показатели производительности и надежности информационных систем на 20–30 % [1].

Таким образом, предложенный алгоритмический подход к выбору серверного оборудования представляет собой действенный инструмент повышения эффективности модернизации производственных информационных систем. Он позволяет формализовать и автоматизировать процесс принятия технических решений, обеспечивая оптимальное соответствие IT-инфраструктуры актуальным бизнес-потребностям предприятия. Дальнейшее развитие и интеграция алгоритма с передовыми цифровыми технологиями открывает перспективы создания интеллектуальных систем управления жизненным циклом производственных информационных активов в парадигме Индустрии 4.0.

Заключение

Таким образом, был сформирован и применён алгоритм выбора аппаратного комплекса для повышения качества информационно-управляющей системы производственного участка. Все пункты были подобраны согласно действующим стандартам, а также по специфике производственного участка, схемы производства и установленным ограничениям.

Сформированная схема информационно-управляющей системы, аппаратный комплекс самой системы и автоматизированная система управления заданным классом технических процессов предоставляют почву непосредственно для разработки программного модуля системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 21.07.1997 №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (ред. от 25.03.2017) — URL: <https://www.mos.ru/stroinadzor/documents/federalnye-normativno-pravovye-akty/view/125582220/> (Дата обращения: 12.12.2023).
2. Перечень часто встречающихся нарушений обязательных требований в сфере деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору / Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2020 — 65с. // Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору: [сайт]. — Режим доступа: <https://www.gosnadzor.ru/> (Дата обращения: 12.12.2023).
3. Шевченко А. В 2020 г. ущерб от аварий на нефтегазовых объектах вырос на 76%. И это только раскрытые дела / А. Шевченко // Neftegaz.RU. — 2020. — URL: <https://neftgaz.ru/news/incidental/655330-v-2020-g-ushcherb-ot-avariy-na-neftegazovykh-obektakh-vyros-na-76-i-eto-tolko-raskrytye-dela/> (Дата обращения: 12.04.2021).
4. Контроллеры SIMATIC. Сравнительная характеристика. / Siemens, 2021. // Siemens [сайт]. Режим доступа: <https://new.siemens.com/ru/ru/produkty/avtomatizacia/sistemy-avtomatizacii/promyshlennye-sistemy-simatic/kontroller-simatic.html> (Дата обращения: 12.04.2021).
5. ГОСТ Р 12.0.001-2013. Система стандартов безопасности труда. Основные положения. / Российский научно-технический центр информации по стандартизации, метрологии и оценке соответствия. — М: Изд-во стандартов, 2014. — 8 с.
6. Синтез алгоритма оценки эффективности программ образовательного кредитования в Российской Федерации / Р.У. Астафьев, Е.В. Пронина, О.А. Пихтилькова [и др.] // Московский экономический журнал. — 2023. — Т. 8, № 7. — DOI 10.55186/2413046X_2023_8_7_347. — EDN BTRGSH.
7. Астафьев Р.У. Применение методов эконометрического моделирования для анализа продукции производства высокотехнологичных и наукоёмких отраслей в регионах Российской Федерации / Р.У. Астафьев, А.А. Григорьева, Т.П. Рябова // Вопросы устойчивого развития общества. — 2022. — № 7. — С. 1141–1154. — EDN IVROQS.

© Астафьев Рустам Уралович (astafev@mirea.ru); Деревянко Никита Вячеславович (derevyanko@mirea.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАННЫХ

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR USING MULTI-AGENT SYSTEMS FOR DATA DISTRIBUTION

**A. Balabanov
N. Kukushkina
E. Voronkin**

Summary. The article discusses the existing methods of building a multi-agent system architecture for data distribution. The considered material allows us to assert that there is a fairly extensive variability of choice, but there is no universal solution for any tasks. The article provides brief extracts from a complete comparative analysis of each technique, which allows us to sufficiently evaluate each of them. In our opinion, the methodology chosen by us during the analysis has not only a sufficient set of necessary characteristics, but also its use lays a good foundation for further extensibility and scalability of the architecture.

Keywords: multi-agent system, information system architecture, comparative analysis, construction methodology, machine learning, artificial intelligence, hybrid methodology.

Балабанов Александр Игоревич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск

Кукушкина Наталья Сергеевна

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск

Воронкин Евгений Юрьевич

старший преподаватель, Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск
kaf.pi@snga.ru

Аннотация. В статье рассматриваются существующие методы построения архитектуры мультиагентной системы для распределения данных. Рассмотренный материал позволяет утверждать, что существует достаточно обширная вариативность выбора, но отсутствует универсальное решение для любых задач. В статье приведены краткие выжимки из полного сравнительного анализа каждой методики, что позволяет в достаточной мере оценить каждую из них. Выбранная нами в ходе анализа методика на наш взгляд обладает не только достаточным набором необходимых характеристик, но и её использование закладывает хорошую основу для дальнейшей расширяемости и масштабируемости архитектуры.

Ключевые слова: мультиагентная система, архитектура информационной системы, сравнительный анализ, методика построения, машинное обучение, искусственный интеллект, гибридная методология.

Введение

В современном мире огромное количество данных генерируется и обрабатывается ежедневно. Однако одной из основных проблем, с которой сталкиваются организации, является эффективное распределение и управление этими данными. В этом контексте мультиагентные системы, представляющие собой совокупность автономных агентов, способных взаимодействовать друг с другом для достижения общей цели, становятся все более актуальным инструментом.

Разработка методики использования мультиагентных систем для распределения данных открывает новые горизонты для оптимизации процессов обработки информации. В данной статье мы рассмотрим основные принципы и преимущества использования мультиагентных систем в контексте распределения данных, а также предложим практические рекомендации по их применению. Современные технологии в области мультиагентных систем позволяют эффективно управлять потоком информации, повышая производительность и оптимизируя процессы обработки данных.

Благодаря комплексному подходу к разработке методики использования мультиагентных систем, органи-

зации могут не только улучшить качество и скорость обработки данных, но также снизить нагрузку на централизованные системы и обеспечить более гибкое и адаптивное управление информацией. Статья направлена на исследование и анализ применимости мультиагентных систем в контексте распределения данных с целью повышения эффективности работы информационных систем и обеспечения их более надежной и гибкой работы.

Существующие методики построения архитектуры мультиагентных систем

Существует довольно много методик построения архитектуры мультиагентных систем для распределения данных, каждая из которых имеет свои преимущества и недостатки. В этом разделе мы рассмотрим некоторые из наиболее распространенных методов и проверим их по критериям эффективности, масштабируемости и надежности.

Централизованные методы:

Централизованные методы включают центрального агента, который отвечает за сбор и распространение данных среди других агентов в системе. [1–5] Централь-

ный агент действует как хаб, который управляет всеми данными и обеспечивает доступ каждого агента к необходимой информации.

Преимущества:

- Простота внедрения и управления.
- Может обрабатывать большие объемы данных.
- Обеспечивает единую точку контроля и управления.

Недостатки:

- Единая точка отказа (центральный агент).
- Ограниченная масштабируемость.
- Могут быть ограничены возможностями центрального агента.

Децентрализованные методы:

При использовании децентрализованных методов задачи управления данными между несколькими агентами распределяются таким образом, чтобы гарантировать, что для всех работающих агентов имеется доступ к необходимым и консистентным данным. [6–10] Каждый агент отвечает за хранение и обмен своими собственными данными, и не существует центрального органа, контролирующего поток информации.

Преимущества:

- Масштабируемость и отказоустойчивость.
- Снижение риска возникновения единой точки отказа.
- Агенты могут работать независимо.

Недостатки:

- Сложнее реализовать и управлять.
- Требуется координация и связи между агентами.

Распределенные методы:

Распределенные методы сочетают в себе элементы как централизованного, так и децентрализованного подходов. [11–15] При таком подходе данные распределяются между несколькими агентами, но существует также центральный агент, который обеспечивает общее управление и координацию.

Преимущества:

- Сочетает преимущества централизованных и децентрализованных методов.
- Улучшенная масштабируемость и отказоустойчивость.
- Обеспечивает эффективное распределение и управление данными.

Недостатки:

- Сложность внедрения и управления.
- Зависимость от центрального агента по координации.

Одноранговые методы:

Одноранговые методы (P2P) устраняют необходимость в центральном агенте, и вместо этого каждый агент действует как клиент и сервер. Агенты напрямую общаются друг с другом для обмена данными и ресурсами.

Преимущества:

- Нет единой точки отказа или контроля.
- Высокая масштабируемость и гибкость.
- Снижение зависимости от инфраструктуры.

Недостатки:

- Сложность внедрения и управления.
- Потенциальные риски безопасности из-за прямого общения между агентами.

Гибридные методы:

Гибридные методы сочетают в себе разные подходы, например, использование централизованного метода для одних задач и децентрализованного метода для других. [16–20] Например, система может использовать централизованный метод сбора и хранения данных, а для обработки и анализа данных использовать децентрализованный метод.

Преимущества:

- Настраиваемый к конкретным потребностям.
- Сочетание преимуществ различных подходов.
- Повышенная эффективность и результативность.

Недостатки:

- Повышенная сложность внедрения и управления.
- Относительная сложность интеграции различных подходов.

Методы на основе блокчейна:

Технология блокчейн может использоваться для создания децентрализованных систем, которые являются безопасными, прозрачными и защищенными от несанкционированного доступа. В системе, основанной на блокчейне, данные хранятся в блоках, которые связаны друг с другом в цепочку, что затрудняет изменение или манипулирование данными без обнаружения.

Преимущества:

- Безопасное и защищенное от несанкционированного доступа хранение данных.
- Прозрачные и проверяемые транзакции.
- Возможно автономное принятие решений.

Недостатки:

- Ограниченная масштабируемость по сравнению с традиционными базами данных.
- Энергоемкий процесс добычи блоков.

Методы на основе искусственного интеллекта:

Искусственный интеллект (ИИ) можно использовать для оптимизации распределения и управления данными в многоагентных системах. Алгоритмы искусственного интеллекта могут анализировать модели использования данных и оптимизировать распределение данных на основе таких факторов, как спрос, доступность и приоритет.

Преимущества:

- Оптимизированное распределение и управление данными.
- Повышение эффективности и сокращение отходов.
- Умение работать со сложными наборами данных.

Недостатки:

- Зависимость от моделей ИИ и данных обучения.
- Потенциальная предвзятость в принятии решений ИИ.

Результаты

После проведения сравнительного анализа методов, был выбран наиболее эффективный для нашей цели. Гибридный метод представляет собой комбинацию различных методов и подходов для построения архитектуры мультиагентной системы распределения данных. Такой подход позволяет нам воспользоваться преимуществами различных методов и смягчить их недостатки, в результате чего получается более надежная и эффективная система. Вот несколько дополнительных (которые были выявлены в ходе более глубокого анализа) причин, по которым мы выбрали гибридный метод построения архитектуры мультиагентной системы распределения данных:

- Гибкость: гибридные методы предлагают большую гибкость, чем традиционные монолитные подходы. Комбинируя различные методы, мы можем адаптировать систему к конкретным требованиям и адаптироваться к изменяющимся условиям. Например, мы можем использовать машинное обучение для назначения задач и теорию игр для разрешения конфликтов, что позволяет нам оптимизировать распределение задач и обеспечивать справедливость между агентами.
- Масштабируемость: гибридные методы легче масштабировать, чем традиционные. Разбив систему на более мелкие компоненты, каждый компонент можно спроектировать для решения конкретной задачи, что упрощает добавление или удаление компонентов по мере необходимости. Такая модульность позволяет системе масштабироваться горизонтально, что особенно полезно при работе с большими объемами данных.

- Надежность: гибридные методы могут обеспечить повышенную надежность по сравнению с традиционными методами. Комбинируя различные методы, мы можем создать механизмы резервирования и аварийного переключения, которые гарантируют, что система продолжит функционировать даже в случае выхода из строя одного или нескольких компонентов. Например, мы можем использовать распределенную базу данных вместе с алгоритмом консенсуса, чтобы обеспечить согласованность и доступность данных.
- Адаптивность: гибридные методы обеспечивают большую адаптируемость, чем традиционные методы. Например, используя алгоритмы машинного обучения, система может учиться на опыте и соответствующим образом корректировать свое поведение. Это позволяет системе адаптироваться к изменениям в среде, например, к изменениям объема данных или поведения агентов.
- Функциональная совместимость. Гибридные методы могут облегчить взаимодействие между различными системами и технологиями. Используя стандартизированные интерфейсы и протоколы, мы можем интегрировать компоненты, созданные с использованием различных технологий и платформ, обеспечивая бесперебойную связь и сотрудничество между агентами.
- Экономическая эффективность: гибридные методы могут быть более рентабельными по сравнению с традиционными методами. Используя программное обеспечение и модели искусственного интеллекта с открытым исходным кодом, мы можем снизить затраты на разработку и минимизировать затраты на обслуживание и обновление системы. Кроме того, можно использовать услуги облачных вычислений для динамического распределения ресурсов, что еще больше оптимизирует затраты.
- Улучшение процесса принятия решений: гибридные методы улучшить качество процесса принятия решений по сравнению с традиционными методами. Например, объединив человеческое суждение с алгоритмами машинного обучения, мы можем создать процессы принятия решений, которые будут использовать сильные стороны как людей, так и машин. Это может привести к более точным прогнозам и лучшим результатам принятия решений.
- Лучший пользовательский опыт. Гибридные методы могут обеспечить лучший пользовательский опыт по сравнению с традиционными методами. Например, объединяя методы обработки естественного языка и искусственный интеллект, мы можем создавать необходимые условия, которые позволяют пользователям взаимодействовать с системой более естественным образом.

Таким образом, гибридный метод предлагает многочисленные преимущества для построения архитектуры мультиагентной системы для распределения данных, включая гибкость, масштабируемость, надежность, адаптируемость, функциональную совместимость, экономическую эффективность, улучшенное принятие решений и лучший пользовательский опыт. Объединив различные методы и подходы, мы можем создать систему, которая хорошо подходит для решения задач современного распределения данных и предоставляет пользователям ценную информацию.

Заключение

В данной статье мы предлагаем разработанную методику построения мультиагентных систем распре-

ления данных. Предлагаемая методология оценивается посредством моделирования и экспериментов с использованием наборов реальных данных. Результаты показывают, что наш подход значительно повышает эффективность и масштабируемость распределения данных по сравнению с традиционными методами. Наш вклад заключается в предоставлении комплексной и гибкой методологии построения распределенных систем распределения данных, которые могут соответствовать различным типам данных, источникам и требованиям к обработке. Будущая работа включает дальнейшую оптимизацию методологии для конкретных областей, исследование дополнительных стратегий распределения данных и интеграцию передовых методов, таких как машинное обучение и интеллектуальный анализ данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building*. Oxford U. P., New York, NY, USA.
- Aridor, Y. and Lange, D. B. (1998). Agent design patterns: elements of agent application design. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomous Agents*, pages 108–115, New York, NY, USA. ACM. ISBN 0-89791-983-1.
- Bordini, R.H.; Seghrouchni, A.E.F.; Hindriks, K.V.; Logan, B.; Ricci, A. Agent programming in the cognitive era. *Auton. Agents Multi Agent Syst.* 2020, 34, 37. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10458-020-09453-y> (дата обращения: 08.03.2024).
- Wooldridge, M.J.; Jennings, N.R. Intelligent agents: Theory and practice. *Knowl. Eng. Rev.* 1995, 10, 115–152. URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/knowledge-engineering-review/article/abs/intelligent-agents-theory-and-practice/CF2A6AAEEA1DBD486EF019F6217F1597> (дата обращения: 08.03.2024).
- Mao, X.; Wang, Q.; Yang, S. A survey of agent-oriented programming from software engineering perspective. *Web Intell.* 2017, 15, 143–163, URL: <https://content.iospress.com/doi/10.3233/WEB-170357>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Mao, X.; Wang, Q.; Yang, S. A survey of agent-oriented programming from software engineering perspective. *Web Intell.* 2017, 15, 143–163, URL: <https://content.iospress.com/doi/10.3233/WEB-170357>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Isern, D.; Moreno, A. A systematic literature review of agents applied in healthcare. *J. Med Syst.* 2016, 40, 43, URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10916-015-0376-2> (дата обращения: 08.03.2024).
- Shoham, Y. Agent-oriented Programming. *Artif. Intell.* 1993, 60, 51–92, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0004370293900349?via%3Dihub>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Krupa, Y.; Vercouter, L. Handling Privacy as Contextual Integrity in Decentralized Virtual Communities: The PrivaCIAS Framework. *Web Intell. Agent Syst.* 2012, 10, 105–116, URL: <https://content.iospress.com/doi/10.3233/WIA-2012-0235>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Boissier, O.; Bordini, R.H.; Hübner, J.F.; Ricci, A.; Santi, A. Multi-agent oriented programming with JaCaMo. *Sci. Comput. Program.* 2013, 78, 747–761, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016764231100181X?via%3Dihub>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Bergenti, F.; Iotti, E.; Monica, S.; Poggi, A. Agent-oriented model-driven development for JADE with the JADEL programming language. *Comput. Lang. Syst. Struct.* 2017, 50, 142–158, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1477842416301075?via%3Dihub>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Pokahr, A.; Braubach, L.; Lamersdorf, W. *Jade: A BDI Reasoning Engine*. In *Multi-Agent Programming: Languages, Platforms and Applications*; Springer: Boston, MA, USA, 2005; pp. 149–174, URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-26350-0_6. (дата обращения: 08.03.2024).
- Hashmi, M.A.; Seghrouchni, A.E.F.; Akram, M.U. A Planning Based Agent Programming Language Supporting Environment Modeling. In *Proceedings of the IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology, WI-IAT 2015, Singapore, 6–9 December 2015*; pp. 76–83, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7397339>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Rodríguez, S.; Gaud, N.; Galland, S. SARL: A General-Purpose Agent-Oriented Programming Language. In *Proceedings of the 2014 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence (WI) and Intelligent Agent Technologies (IAT), Warsaw, Poland, 11–14 August 2014; Volume III*, pp. 103–110, URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6928174>. (дата обращения: 08.03.2024).
- García-Magariño, I.; Gómez-Rodríguez, A.; Moreno, J.C.G.; Navarro, G.P. PEABS: A Process for developing Efficient Agent-Based Simulators. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2015, 46, 104–112, URL: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0952197615002031>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Pavón, J.; Gómez-Sanz, J.; Fuentes-Fernández, R. The INGENIAS methodology and tools. In *Agent-Oriented Methodol; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2005*; pp. 236–276, URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-59140-581-8.ch009>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Caillou, P.; Gaudou, B.; Grignard, A.; Truong, Q.C.; Taillandier, P. A Simple-to-Use BDI Architecture for Agent-Based Modeling and Simulation. In *Proceedings of the European Social Simulation Association 2015, Groningen, The Netherlands, 14–18 September 2015; Volume 528*, pp. 15–28, URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47253-9_2. (дата обращения: 08.03.2024).
- Singh, D.; Padgham, L.; Logan, B. Integrating BDI Agents with Agent-Based Simulation Platforms. *Auton. Agents Multi Agent Syst.* 2016, 30, 1050–1071, URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10458-016-9332-x>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Santos, G.; Pinto, T.; Praça, I.; Vale, Z. MASCEM: Optimizing the performance of a multi-agent system. *Energy* 2016, 111, 513–524, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544216307654?via%3Dihub>. (дата обращения: 08.03.2024).
- Jain, S.; Asawa, K. EMLA: Emotion model for intelligent agent. *J. Intell. Syst.* 2015, 24, 449–465, URL: <https://doi.org/10.1515/jisys-2014-0071>. (дата обращения: 08.03.2024).

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПОЛУНАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ БЕСПИЛОТНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ НА БАЗЕ ТРАКТОРА БЕЛАРУС-3525¹

MODELING AND SEMI-NATURAL TESTING OF INFORMATION-CONTROL SYSTEMS FOR UNMANNED AGRICULTURAL MACHINERY BASED ON THE BELARUS-3525 TRACTOR

**I. Galilulin
D. Chikrin
D. Pashin
A. Fahrutdinov**

Summary. In modern agriculture, automation plays a crucial role in enhancing the efficiency and accuracy of agricultural operations. One significant achievement in this field is the development of heavy-duty unmanned tractors equipped with information-control systems. This article focuses on the modeling and semi-natural testing of such systems using unmanned agricultural machinery based on the «Belarus-3525» tractor as a case study.

The introduction of unmanned tractors provides new opportunities for automating soil cultivation, sowing, and harvesting operations. They are equipped with advanced information-control systems that enable interaction with the environment and task execution with minimal human involvement. However, before implementation in real-world conditions, thorough modeling and testing of control systems on virtual and semi-natural test sites are necessary.

The article discusses the process of modeling information-control systems for unmanned agricultural machinery based on the «Belarus-3525» tractor and their semi-natural testing. Special attention is paid to creating a virtual environment capable of simulating various tractor operation scenarios, testing control systems and algorithms, and conducting tests in different conditions, including extreme and inaccessible for physical testing. The obtained results will allow for a more comprehensive assessment of the performance of unmanned tractors and their information-control systems, as well as optimization of their functioning in real operating conditions.

Keywords: autonomous tractor, modeling, virtual simulation, Gazebo, control mode testing.

Галиуллин Искандер Гаязович

соискатель,

Казанский (Приволжский) федеральный университет

isgaliullin@gmail.com

Чикрин Дмитрий Евгеньевич

д.т.н., Казанский (Приволжский)

федеральный университет

dmitry.kfu@ya.ru

Пашин Дмитрий Михайлович

д.т.н., Казанский (Приволжский)

федеральный университет

dmitry.m.pashin@gmail.com

Фахрутдинов Адель Фердинандович

аспирант, ассистент, Казанский (Приволжский)

федеральный университет

timvaz@yandex.ru

Аннотация. В современном сельском хозяйстве автоматизация играет ключевую роль в повышении эффективности и точности выполнения сельскохозяйственных операций. Одним из существенных достижений в этой области является разработка беспилотных тракторов тяжелого класса, оборудованных информационно-управляющими системами. Данная статья посвящена моделированию и полунатурным испытаниям таких систем на примере беспилотной сельскохозяйственной техники на базе трактора «Беларус-3525». Введение беспилотных тракторов предоставляет новые возможности в автоматизации операций по обработке почвы, посеву и уборке урожая. Они оснащены современными информационно-управляющими системами, которые обеспечивают взаимодействие с окружающей средой и выполнение задач с минимальным человеческим участием. Однако перед внедрением в реальные условия необходимо провести тщательное моделирование и испытания систем управления на виртуальных и полунатурных полигонах.

В статье рассматривается процесс моделирования информационно-управляющих систем беспилотной сельскохозяйственной техники на базе трактора «Беларус-3525» и их полунатурные испытания. Особое внимание уделяется созданию виртуальной среды, позволяющей моделировать различные сценарии работы трактора, тестировать управляющие системы и алгоритмы, а также проводить испытания в различных условиях, включая экстремальные и недоступные для физических испытаний. Полученные результаты позволят более полно и всесторонне оценить работу беспилотного трактора и его информационно-управляющих систем, а также оптимизировать их функционирование в реальных условиях эксплуатации.

Ключевые слова: беспилотный трактор, моделирование, виртуальная симуляция, Gazebo, испытания режимов управления.

¹ Работа выполнена за счет средств Программы стратегического академического лидерства Казанского (Приволжского) федерального университета («ПРИОРИТЕТ-2030»).

Введение

В современном мире технологический прогресс приводит к внедрению автоматизированных и беспилотных систем в различные области промышленности. Одной из таких областей является сельское хозяйство [1], где применение беспилотных тракторов тяжелого класса может значительно повысить эффективность и производительность работы.

Традиционные методы ведения сельского хозяйства требуют значительных ресурсов в виде времени, труда и финансовых затрат. Внедрение беспилотных тракторов позволяет автоматизировать рутинные задачи, такие как пахота, посевы и уборка урожая, и освободить человеческий ресурс для выполнения более сложных и креативных задач.

В данной работе проведены исследования по моделированию системы беспилотного трактора тяжелого класса. Проведение испытаний режимов управления на виртуальном полигоне имеет важное значение — это позволяет оценить эффективность и надежность системы, а также снизить риски и затраты, связанные с физическими испытаниями на реальном полигоне.

Целью данного исследования является разработка и моделирование системы беспилотного трактора тяжелого класса в виртуальной среде Gazebo и проведение полунатурных испытаний режимов управления.

Основные задачи исследования включают:

1. Изучение пакета Gazebo и его применение в моделировании тракторов.
2. Выбор и адаптация моделей трактора и окружающей среды в виртуальной симуляции.
3. Создание управляющей системы и алгоритмов для беспилотного трактора в виртуальной среде.
4. Интеграция датчиков и актуаторов в виртуальной среде для достижения реалистичных условий испытаний.
5. Проведение испытаний режимов управления.
6. Анализ результатов испытаний и оценка эффективности и точности моделирования системы.
7. Исследование перспектив применения виртуальной симуляции для разработки беспилотных тракторов тяжелого класса.

Путем выполнения этих задач и достижения поставленной цели исследования будет получен ценный вклад в развитие автономных систем в сельском хозяйстве и предоставлены рекомендации для дальнейших исследований и разработок в этой области.

Основные результаты

Одним из популярных инструментов для виртуальной симуляции является пакет Gazebo[2]. Gazebo предо-

ставляет среду для моделирования и симуляции различных робототехнических систем [3], включая тракторы. Он предоставляет возможность создания виртуальной модели трактора, адаптации окружающей среды, интеграции датчиков и актуаторов, разработки управляющих систем и алгоритмов. Gazebo обладает широким набором инструментов для анализа результатов и визуализации работы системы [4]. Благодаря своей гибкости и расширяемости, Gazebo становится популярным инструментом в разработке и испытаниях беспилотных тракторов тяжелого класса.

Первым шагом в моделировании системы беспилотного трактора в Gazebo является выбор и адаптация моделей самого трактора и окружающей среды [5]. Необходимо выбрать подходящую модель трактора, которая соответствует его физическим характеристикам и особенностям. Для окружающей среды необходимо создать модель, которая отражает реалистичные условия работы трактора, включая различные типы почвы, ландшафтные особенности и препятствия.

Для беспилотного трактора необходимо разработать эффективную управляющую систему и алгоритмы, которые будут отвечать за принятие решений и выполнение задач. В Gazebo можно создать виртуальную модель управляющей системы, которая будет взаимодействовать с моделью трактора и окружающей средой [6]. Разработка алгоритмов включает в себя управление движением трактора, выполнение операций обработки почвы или уборки урожая, а также управление датчиками и актуаторами.

Для достоверного моделирования беспилотного трактора необходимо интегрировать датчики и актуаторы в виртуальной среде Gazebo[7]. Датчики, такие как камеры, лидары или глобальная позиционная система (GPS), должны быть адаптированы и встроены в модель трактора. Актуаторы, такие как двигатели и механизмы управления рабочими органами, должны быть связаны с моделью трактора таким образом, чтобы их действия были отражены в виртуальной среде [8]. Это позволит симулировать работу датчиков и актуаторов и проверить их эффективность в контролируемой среде моделирования.

Моделирование системы беспилотного трактора в Gazebo представляет собой сложный процесс, требующий тщательной работы по выбору моделей, разработке управляющей системы и интеграции датчиков и актуаторов [9]. Однако, благодаря возможностям Gazebo, можно достичь достоверного и эффективного моделирования [10] системы беспилотного трактора перед физической реализацией. Для построения симуляции и реализации управления было принято решение строить систему на базе взаимодействия Gazebo с операционной систе-

мой роботов ROS. ROS представляет собой совокупность библиотек, который в первую очередь позволяют выполнять моделирование как робототехнических систем, так и любой другой техники. Данная экосистема позволяет легко разрабатывать проекты симуляции для Gazebo, а также реализовывать механизмы управления моделями симуляции. Модель трактора была разработана с использованием файла описания модели SDF (Simulation Description Format), который построен на основе формата XML. Файл SDF позволяет полноценно описать модели робототехнических систем для симуляции, визуализации и контроля.

Разработанная модель трактора имеет следующую структуру:

— Звенья (Link):

- Каркас;
- Левое переднее колесо;
- Правое переднее колесо;
- Левое заднее колесо;
- Правое заднее колесо;
- Лидар;
- Камера;
- GPS датчик фронтальный;
- GPS датчик тыльный;
- Крепеж фронтальной рейки;
- Фронтальная рейка;
- Крепеж задней рейки;
- Задняя рейка;
- Фронтальный сонар 1;
- Фронтальный сонар 2;
- Фронтальный сонар 3;
- Фронтальный сонар 4;
- Тыльный сонар 1;
- Тыльный сонар 2;
- Тыльный сонар 3;
- Тыльный сонар 4.

— Соединения (Joint):

- Соединитель фиксированного типа между каркасом и камерой;
- Соединитель фиксированного типа между фронтальной рейкой и лидаром;
- Соединитель фиксированного типа между фронтальной рейкой и фронтальным сонаром 1;
- Соединитель фиксированного типа между фронтальной рейкой и фронтальным сонаром 2;
- Соединитель фиксированного типа между фронтальной рейкой и фронтальным сонаром 3;
- Соединитель фиксированного типа между фронтальной рейкой и фронтальным сонаром 4;
- Соединитель фиксированного типа между тыльной рейкой и тыльным сонаром 1;
- Соединитель фиксированного типа между тыльной рейкой и тыльным сонаром 2;
- Соединитель фиксированного типа между тыльной рейкой и тыльным сонаром 3;

- Соединитель фиксированного типа между тыльной рейкой и тыльным сонаром 4;
- Соединитель фиксированного типа между крепежом фронтальной рейки и каркасом;
- Соединитель фиксированного типа между крепежом тыльной рейки и каркасом;
- Соединитель фиксированного типа между фронтальной рейкой и крепежом фронтальной рейки;
- Соединитель фиксированного типа между тыльной рейкой и крепежом тыльной рейки;
- Соединитель фиксированного типа между фронтальным датчиком GPS и каркасом;
- Соединитель фиксированного типа между тыльным датчиком GPS и каркасом;
- Соединитель универсального типа между каркасом и левым передним колесом;
- Соединитель универсального типа между каркасом и правым передним колесом;
- Соединитель вращательного типа между каркасом и левым задним колесом;
- Соединитель вращательного типа между каркасом и правым задним колесом.

— Плагины (Plugin):

- Ackermann Drive — предназначен для построения колесных моделей с использованием принципа Аккермана в рулевом управлении;
- Joint State Publisher — предназначен для информирования о состоянии соединений в модели;
- ROS ray sensor — плагин, предназначенный для реализации лидаров и сонаров;
- ROS camera — плагин, предназначенный для работы с камерами, устанавливаемые на модель
- ROS GPS sensor — плагин, предназначенный для работы с датчиками GPS.

После создания SDF модели описания трактора был создан проект симуляции ROS — Gazebo. Программная часть проекта симуляции реализована на языке программирования Python 3.8. Проект симуляции имеет следующую структуру:

- Файл запуска («launch» файл) — данный файл выполняет задачу запуска проекта симуляции в Gazebo используя путь к файлу мира и путь к пакету симуляции (проекту симуляции), а также выполняет запуск скрипта инициализации («setup» файл) всех элементов (узлов — «Node») в мире симуляции по аргументам, передаваемых при создании узлов. Файлы запуска имеют формат «.py»;
- Модели симуляции — содержит в себе описание используемых моделей, в том числе описанный ранее SDF модель трактора и его визуальную 3D модель в формате «.dae», а также текстуры модели;
- Файл мира — описывает мир, в котором будет выполняться симуляция. В данном файле описа-

ны поверхности, на которых будут размещаться модели, создаваемые при симуляции. Также файл содержит описание физики окружающего мира, качество и направление освещения, описание поведения теней, а так описание статических и динамических размещаемых объектов мира. Файл мира имеет формат «.world»;

- Файл инициализации («setup» файл) — выполняет непосредственное создание в мире симуляции узлов, необходимых для работы симуляции. Таким узлом в данной работе является разработанная модель трактора. Для модели задаются начальные позиционные координаты в системе координат XYZ, а также начальные углы крена, тангажа и рыскания.

Трактор тяжелого класса, полученный в результате собранной модели в Gazebo показан на на Рисунке 1.



Рис. 1. Моделирование системы беспилотного трактора тяжелого класса

Для обеспечения полной работоспособности системы беспилотного трактора тяжелого класса была использована сенсорика — 8 сонаров, лидар, камера, 2 GPS датчика. Структурная схема модели трактора с установленной сенсорикой и указанием типа соединений между звеньями показана на Рисунке 2.

Для разработки алгоритмов управления виртуального трактора был использован язык программирования Python 3.10 с использованием компонентов PyQt для обеспечения взаимодействия между частями программы. Алгоритм состоит из компонентов — блок управления, блок обратной связи виртуального трактора (Рисунок 3).

Критерии оценивания результатов виртуального моделирования и сравнение с результатами натуральных испытаний

Для определения качества выполнения сценариев используются следующие критерии:

- Максимальное отклонение от точек маршрутного задания;
- СКО от точки маршрутного задания;

Формула вычисления максимальных отклонений:

$$\max_{dev} = \max(|x_{vi} - x_{ri}|, |y_{vi} - y_{ri}|), i = \overline{1..N} \quad (1)$$

где N — количество геолокационных точек;

x_{vi}, y_{vi} — координаты i -ой точки местоположения БСТС на виртуальном полигоне;

x_{ri}, y_{ri} — координаты i -ой точки местоположения реального БСТС;

Формула вычисления СКО:

$$СКО = \sqrt{\frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N ((x_{vi} - x_{ri})^2 + (y_{vi} - y_{ri})^2)} \quad (2)$$

где N — количество геолокационных точек;

x_{vi}, y_{vi} — координаты i -ой точки местоположения ТС на виртуальном полигоне;

x_{ri}, y_{ri} — координаты i -ой точки местоположения реального ТС.

Цель проведения испытаний заключается в верификации алгоритма управления упрощенного автопилота трактора тяжелого класса в процессе движения по маршруту на открытой территории с препятствиями. На Рисунке 4 приведены примеры маршрутов, в Таблице 1 представлены результаты испытаний в виде максимальных отклонений (\max_{dev}) и средних квадратических отклонений (СКО) маршрутов движения реального и виртуального трактора друг от друга.

По результатам всех проведенных экспериментов наивысшее процентное соотношение максимального отклонения по отношению к общей длине траектории составляет 0,42 %, а СКО по отношению к длине траектории: 0,14 %.

Выводы

В ходе исследования было проведено моделирование системы беспилотного трактора тяжелого класса в пакете Gazebo. В результате сделаны следующие выводы:

- Моделирование системы беспилотного трактора в виртуальной среде Gazebo позволяет эффективно и точно анализировать и испытывать режимы управления без необходимости физической реализации.
- Использование адаптированных моделей трактора и окружающей среды в Gazebo позволяет достоверно воспроизвести условия работы трактора и оценить его производительность.
- Разработанная управляющая система и алгоритмы позволяют беспилотному трактору выполнять задачи с высокой эффективностью и точностью.

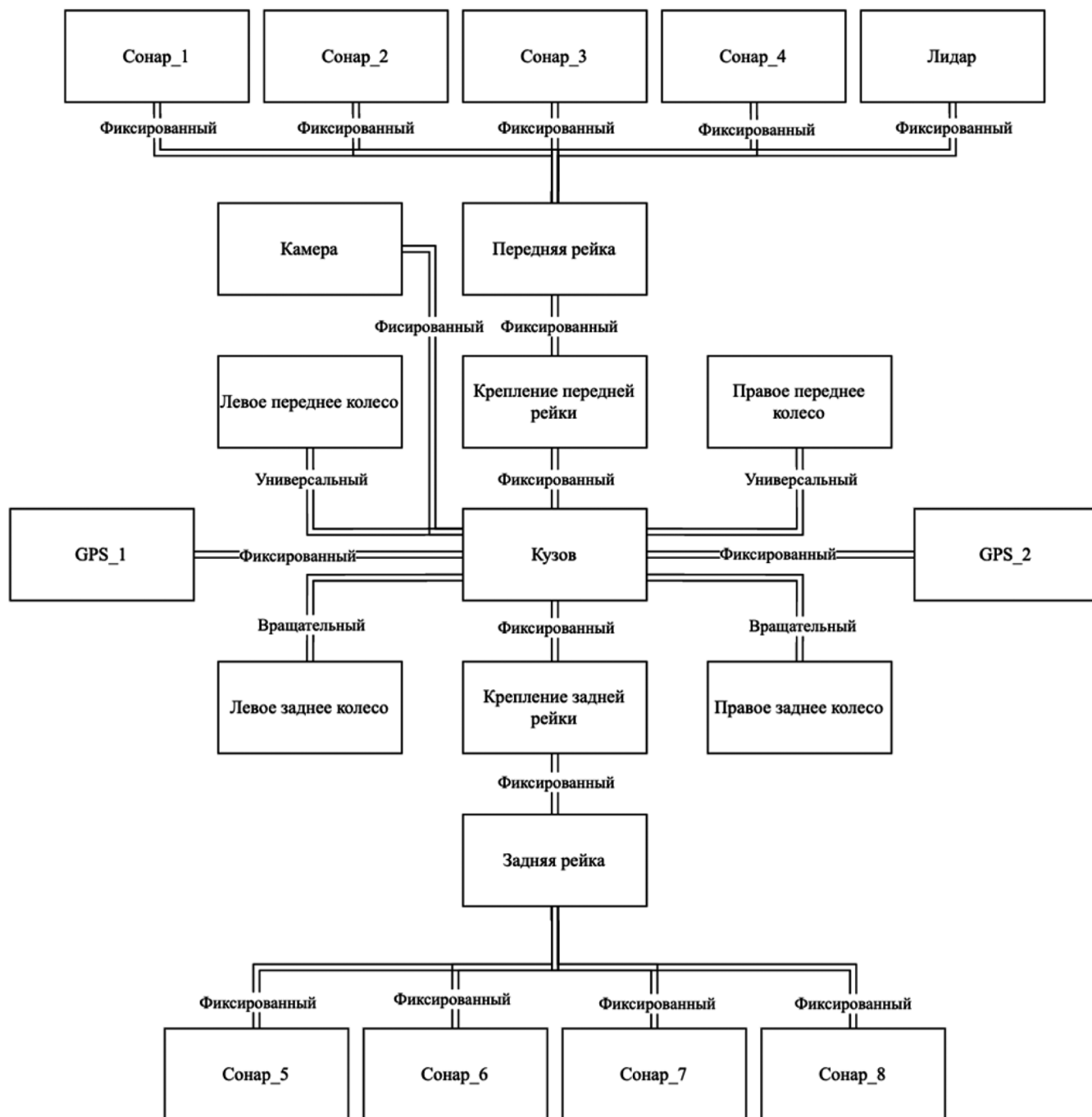


Рис. 2. Структурная схема виртуального трактора тяжелого класса с установленной сенсорикой с указанием типа соединений между звеньями

На основании проведенного исследования предлагаются следующие рекомендации для дальнейших исследований и разработок:

- Исследовать возможности расширения модели трактора и окружающей среды для более реалистичного моделирования различных условий работы и ландшафтных особенностей.
- Расширить функциональность управляющей системы и алгоритмов, включая управление в различных режимах и адаптацию к переменным условиям.

- Исследовать возможности интеграции более широкого спектра датчиков и актуаторов для более полного моделирования работы беспилотного трактора.
- Продолжить исследования в области оптимизации и автоматизации процессов моделирования и испытаний в виртуальной среде Gazebo.
- Рекомендации выше помогут продолжить развитие и улучшение моделирования системы беспилотного трактора в Gazebo, а также применить его для более широкого спектра задач и сценариев.

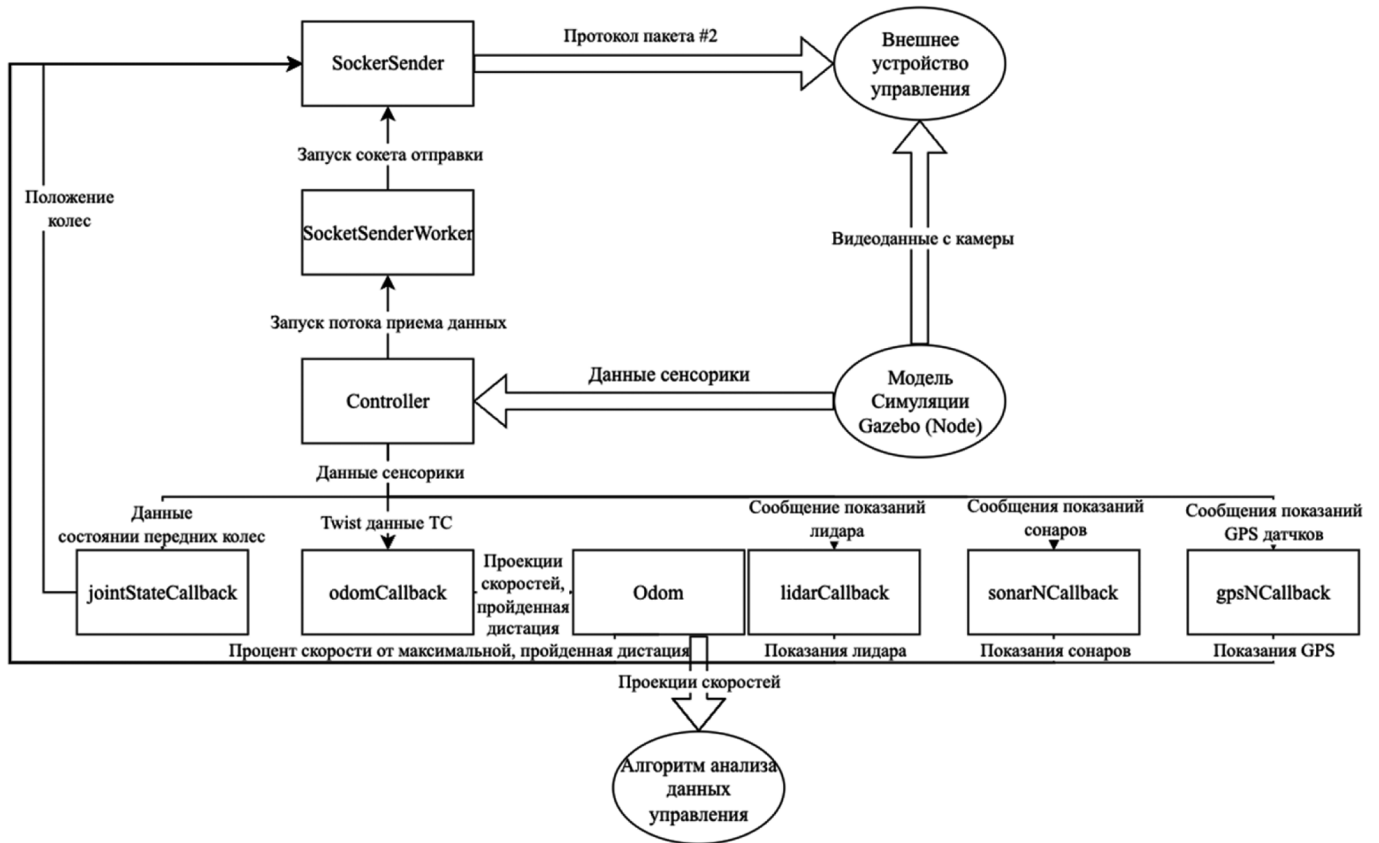


Рис. 3. Структурная схема блока обратной связи беспилотного трактора.

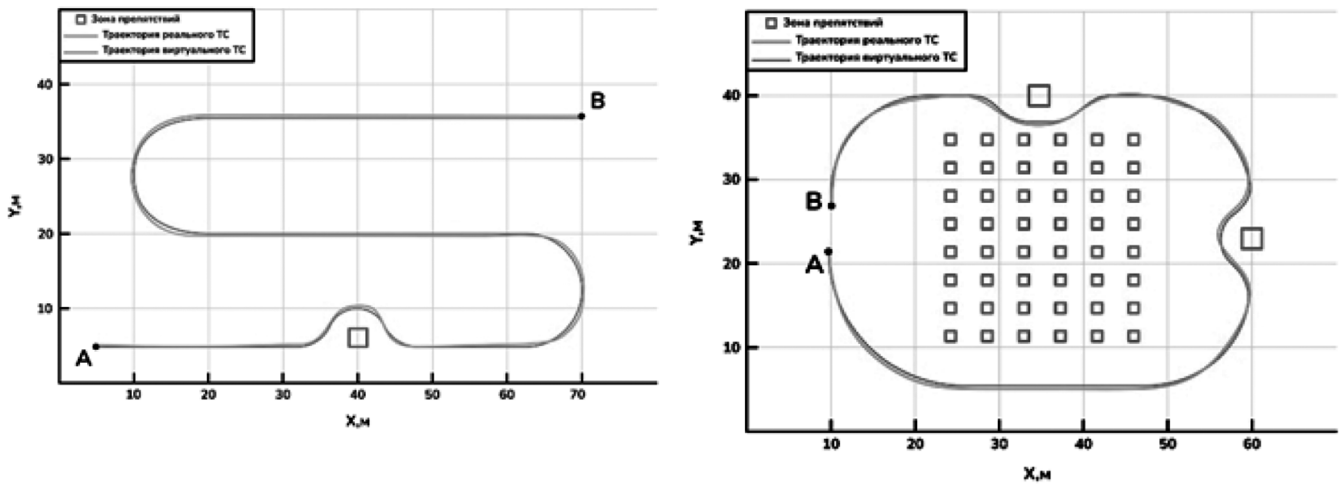


Рис. 4. Примеры маршрутов испытаний.

Таблица 1.

Результаты испытаний движения реального и виртуального трактора

| № | Длина маршрута (м) | Максимальное отклонение (м) | СКО (м) |
|---|--------------------|-----------------------------|---------|
| 1 | 182,4 | 0.381 | 0.112 |
| 2 | 198,1 | 0.329 | 0.107 |
| 3 | 154,3 | 0.324 | 0.106 |
| 4 | 167,6 | 0.345 | 0.109 |
| 5 | 64,1 | 0.269 | 0.093 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Галиуллин, И.Г. Система автономного управления движением машинно-тракторного агрегата с использованием отечественной элементной базы / И.Г. Галиуллин // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. — 2022. — № 6(110). — С. 92–98. — DOI 10.35330/1991-6639-2022-6-110-92-98. — EDN NZIISF.
2. Gazebo Simulator [сайт]. Режим доступа: <http://gazebo.org/>, свободный (дата обращения: 15.06.2023).
3. Чикрин, Д.Е. Методологические основы проектирования инфокоммуникационных систем автомобильных транспортных средств высокой степени автоматизации: дис. . . . д-ра техн. наук, 05.13.01. — Казань, 2021. — 399с.
4. Егорчев А.А. Верифицируемые системы виртуального моделирования беспилотных транспортных средств: дис. . . . канд. техн. наук, 05.13.01. — Казань, 2021. — 340с.
5. 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.
6. Свалова И.Е. Виртуальное физическое моделирование технических средств и климатических явлений в задачах симуляции сложных технических систем: магистерская дисс. — Казанский (Приволжский) федеральный ун-т, Казань, 2018. — С. 19–35. — URL: https://kpfu.ru/student_diplom/10.160.178.20_6430347_F_VKR_Svalova_I_E.pdf (дата обращения: 16.06.2023).
7. Егорчев А.А., Чикрин Д.Е., Бриский Д.В. Решение задач виртуального моделирования показаний системы сенсорики в системах беспилотного транспорта. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия Естественные и технические науки. 2020. №7. С. 74–81.
8. Чикрин Д.Е., Егорчев А.А., Свалова И.Е., Державин Д.В. Виртуальное физическое и визуальное моделирование работы механических элементов технических систем // Перспективы науки. 2018. №3(102). С. 25–32.
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); Чикрин Дмитрий Евгеньевич (dmitry.kfu@ya.ru);
Пашин Дмитрий Михайлович (dmitry.m.pashin@gmail.com); Фахрутдинов Адель Фердинандович (timvaz@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

DOI 10.37882/2223-2966.2024.05.08

АЛГОРИТМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕБ-САЙТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

AN ALGORITHM FOR DESIGNING WEB SITES BASED ON THE USE OF ANALYTICAL TECHNOLOGIES

B. Goryachkin
A. Martynova
K. Lyashkov
I. Larin

Summary. Problem statement. Over the past 20 years, websites have become widespread. Today, the design of websites is based on analytical technologies to identify user needs and methodologically support the design process. At the same time, the scientific community has not formulated a unified approach to design, as well as analytical technologies used within its framework. The article attempts to generalize the scientific knowledge and professional experience of the authors in the field of website design in the form of choosing an effective algorithm of website design.

Purpose. To identify analytical technologies used in website design and the problems of their application. To choose an algorithm for designing websites based on the use of analytical technologies. To test the hypothesis about the reduction of time resources when applying the design algorithm, the result of which meets the needs of users in sufficient volume, on the example of designing the website of the department.

Hypothesis. The chosen algorithm reduces the time cost in designing websites, the result of which meets the needs of the users sufficiently.

Results. The chosen website design algorithm based on the use of analytical technologies, as well as the confirmation or refutation of the assumption of reducing time resources when applying the design algorithm, the result of which meets the needs of users in sufficient volume, on the example of the design of the department website.

Practical significance. The chosen algorithm will minimize the time resources required for website design. In this context, the application of the algorithm assumes that the prepared prototype website will meet the needs of users in sufficient volume.

Keywords: Web site, design, design algorithm, analytical technologies.

Горячкин Борис Сергеевич

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

Мартынова Анна Александровна

Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
anja.a.martynova@yandex.ru

Ляшков Кирилл Александрович

Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
kirill21337@ya.ru

Ларин Иван Сергеевич

Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
larin.u@yandex.ru

Аннотация. Постановка проблемы. За последние 20 лет веб-сайты приобрели широкое распространение. Сегодня в основе проектирования веб-сайтов лежат аналитические технологии, призванные выявить потребности пользователей и методически обеспечить процесс проектирования. При этом в научном сообществе не сформулирован единый подход к проектированию, как и используемых в его рамках аналитических технологий. В статье произведены попытка обобщения научного знания и профессионального опыта авторов в сфере проектирования веб-сайтов в виде выбора эффективного алгоритма проектирования веб-сайтов.

Цель. Выявить аналитические технологии, используемые в проектировании веб-сайтов, и проблемы их применения. Построить алгоритм проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий. Проверить гипотезу о сокращении временных ресурсов при применении алгоритма проектирования, результат которого отвечает потребностям пользователей в достаточном объеме, на примере проектирования веб-сайта кафедры.

Гипотеза. Выбранный алгоритм позволяет сократить временные затраты в проектировании веб-сайтов, результат которого отвечает потребностям пользователей в достаточном объеме.

Результаты. Выбранный алгоритм проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий, а также подтверждение или опровержение предположения о сокращении временных ресурсов при применении алгоритма проектирования, результат которого отвечает потребностям пользователей в достаточном объеме, на примере проектирования веб-сайта кафедры.

Практическая значимость. Раскрытие возможностей применения аналитических технологий в проектировании веб-сайтов. Выбранный алгоритм позволит снизить временные ресурсы, требуемые для проектирования веб-сайтов. При этом применение алгоритма предполагает, что подготовленный прототип веб-сайта удовлетворит потребности пользователей в достаточном объеме.

Ключевые слова: веб-сайт, проектирование, алгоритм проектирования, аналитические технологии.

Введение

В современном мире обмен информации стал доступнее — человек может получить доступ к интересующей его информации мгновенно посредством сети Интернет. Информационный обмен в таком случае может быть реализован с помощью веб-сайтов, так как веб-сайт является опосредственным информационным каналом.

ИСО (Международная организация по стандартизации) и МЭК (Международная электротехническая комиссия), образующие специализированную систему всемирной стандартизации, определяют веб-сайт (от англ. web — «сеть, паутина» и site — «место») как коллекцию логически связанных веб-страниц, управляемых как единое целое [1]. Согласно Федеральному закону от 27.07.2006 N 149-ФЗ, сайт — это совокупность программ для электронных вычислительных машин и иной информации, содержащейся в информационной системе, доступ к которой обеспечивается посредством информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» [2].

В контексте данной работы под сайтом будем понимать объединенную под одним адресом совокупность связанных страниц, находящихся в сети Интернет в открытом доступе.

Использование аналитических технологий в проектировании веб-сайтов связано в первую очередь с распространением цифровых технологий в современном мире, что повлекло за собой активное использование веб-сайтов как инструмента предоставления информации в цифровой среде. По данным Internet Live Stat, общее количество веб-сайтов в сети Интернет за период с 2009 по 2021 год увеличилось почти в 8 раз и на 2022 год составляет почти 2 млрд [3]. В эпоху информационного общества, в котором, согласно Указу Президента РФ «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», информация и уровень её применения кардинально влияют на развитие общества [4]. Несомненно, использование аналитических технологий для обработки информации, как и роль аналитика в целом, приобретает сегодня особое значение. Это применимо и к проектированию веб-сайтов, в частности.

Сегодня веб-сайты должны удовлетворять потребности его пользователей — предоставлять им желаемый контент и функционал. Сегодня цифровые продукты, в том числе веб-сайты, проектируются для пользователя с учётом его потребностей. Это подтверждает следующий факт: в 2019 году стандарт ISO 9241 «Эргономика взаимодействия человека и системы» был дополнен частью «Человеко-ориентированный дизайн интерактивных систем (HCD)» [5]. Согласно подходу HCD, в цен-

тре системы — пользователь и его опыт. Для выявления потребностей пользователей необходимо использовать аналитические технологии.

При этом при проектировании сайта аналитическая составляющая может быть упущена, что влечёт за собой повышение риска траты ресурсы «впустую», так как спроектированный сайт может не удовлетворить потребности пользователей и таким образом не достичь цели его создания. Упущение аналитики связано с широким распространением различных инструментов анализа уже реализованных, то есть доступных в сети Интернет, веб-сайтов. Например, по данным компании W3Techs системы веб-аналитики, позволяющие фиксировать действия пользователя при взаимодействии с сайтом и проводить их дальнейший анализ, установлены на 63 % исследуемых сайтов [6]. Однако подобные сервисы подходят только для поддержания и улучшения текущих версий сайтов и не могут быть использованы при проектировании новых, так как ретроспективная информация попросту отсутствует. К тому же, растёт популярность конструкторов сайтов. Например, количество сайтов, созданных с помощью конструктора Wix, достигло более 8 млн [7]. Конструкторы сайтов позволяют без использования специальных навыков на основе готовых шаблонов создать собственный сайт, что значительно упростило процесс создания сайта.

Вопросам проектирования веб-сайтов посвящен широкий ряд научной литературы. При этом в научной литературе в основном затрагиваются технический (фреймворки для разработки, используемые языки программирования, внутренняя архитектура и т.д.) и визуальные аспекты (контрастность, читаемость текста, расположение элементов относительно друг друга и др.). Аналитическая составляющая проектирования веб-сайтов ограничивается анализом ретроспективной информации о поведении пользователей в уже реализованной (текущей) версии сайта.

Научные подходы к сущности проектирования веб-сайтов

Важно отметить, что толкование понятия «проектирование веб-сайта» исследователями зачастую опускается, а само понятие представляется синонимом к «созданию» и «разработке» веб-сайтов. Такая ситуация отнюдь не связана с недобросовестностью исследователей — проблема определения понятия «проектирование» лежит на более высоком методологическом уровне, чему посвящена статья доктора философских наук и главного научного сотрудника Института философии РАН В.М. Розина [8]. В связи с неоднозначностью понятия сформировалось несколько подходов к содержанию этапов проектирования сайта.

В научной литературе и ресурсах сети Интернет исследователи проектирования веб-сайтов сходятся во мнении, что этап проектирование начинается с определение целей (целеполагание). То есть фактически это означает, что проектирование является первым этапом в цикле разработки веб-сайта. В перечисленных подходах главным различием становится определение конечного этапа проектирования. Так как результатом процесса проектирования является некоторый прототип объекта проектирования, в случае проектирования веб-сайта вид итогового прототипа в зависимости от подхода изменяется. Исходя из фаз цикла создания сайта, предложенной Люком Реймером [9], представим основные подходы к сущности проектирования веб-сайтов (таблица 1).

Таким образом, можно выделить три основных подхода к сущности проектированию веб-сайтов:

1. проектирование сайта как *полный цикл создания сайта*;
2. проектирование сайта как *этап, предшествующий этапу дизайна сайта*;
3. проектирование сайта как *этап, предшествующий этапу технической реализации сайта*.

В научной литературе также встречается подход, объединяющий перечисленные выше предложения по определению границ этапа проектирования и разрешающий проблему неточности самого понятия «проектирование». Так исследователи проектирования автоматизированных информационных систем (АИС) выделяют

несколько уровней проектирования и полагают целесообразным «использовать нисходящий стиль блочно-иерархического проектирования» [10, с. 117]. Алан Купер, один из первопроходцев в области проектирования взаимодействия пользователя с интерфейсом, придерживается схожего мнения. В книге «Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия» [11] автор раскрывает понятия целеориентированного проектирования, направленного на реализацию целей и мотивов пользователей при их взаимодействии с цифровым продуктом. При описании понятия автор следует иерархической структуре, постепенно переходя от ключевого понятия до более низкоуровневых — проектирования внешнего облика и детального проектирования взаимодействий.

В рамках исследования аналитических технологий в проектировании веб-сайтов понятие проектирования веб-сайтов интерпретируется как первоначальный этап создания сайта, завершающийся построением модели сайта. Обоснование выбора такого подхода напрямую связано со спецификой рассматриваемого этапа. Этапы дизайна и разработки обладают широкой предметной областью, в которой действуют собственные «законы». Поэтому сегодня большинство компаний расширяют штат сотрудников специалистами в данных областях. Очевидно, что ответственность за успешность этапа дизайна несёт веб-дизайнер, а этапа разработки — разработчик сайта. Первичный анализ — это «поле деятельности» аналитика.

Таблица 1.

Основные подходы к сущности проектирования веб-сайтов

| Фаза цикла разработки сайта | | Подходы к сущности проектирования | | |
|-----------------------------|---|-----------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|
| Название | Сущность | Коробицин | Пашкевич, Мальцев, Коротина | Корзина, Позднякова |
| Планирование | Этап включает в себя определение целей клиента, целевой аудитории, требуемого функционала, исследование предметной области и финансовой составляющей, а также формирование карты сайта и составление основных документов. | ✓ | ✓ | ✓ |
| Дизайн | Этап дизайна обычно включает в себя перенесение информации, изложенной на этапе планирования, в реальность. Особую важность на этом этапе приобретает визуальное представление сайта. | | ✓ | ✓ |
| Техническая разработка | Разработка включает в себя основную часть работы по программированию, а также загрузку контента на сайт командой или клиентом. | | | ✓ |
| Запуск | Целью этапа запуска является подготовка веб-сайта к публикации для публичного просмотра. Необходимо проведение финального тестирования элементов дизайна, функций, реализованных на сайте. | | | ✓ |
| Поддержка | Этап включает в себя выполнение оставшихся небольших задач, происходит упаковка исходных файлов сайта, предоставление клиенту инструкций или других обучающих материалов по использованию сайта в дальнейшем. | | | ✓ |
| Прототип | | Каркас сайта | Макет сайта | Веб-сайт, введённый в эксплуатацию |

Роль аналитика приобретает особую значимость на первичном этапе создания веб-сайта. Сбор и обработка информации, высокие коммуникативные навыки для общения с заказчиком, умение применять аналитические технологии для исследования предметной области, подготовка информации для дальнейшего принятия решения о разработке — это ключевые компетенции информационного аналитика, которые находят отражение именно на первом этапе создания сайта.

Так в чём же заключается содержание проектирования? Какие аспекты должны быть определены на данном этапе? Если обобщить представления указанных ранее авторов к содержанию этапа проектирования, то проектирование определяется следующими шагами (рис. 1).



Рис. 1. Шаги проектирования

Определим назначение каждого шага в проектировании.

1. Целеполагание.

«Всякая деятельность начинается с постановки цели» [12, с. 40]. Этот шаг является первым и ключевым, так как во время этого шага определяются цель и задачи сайта. В будущем результаты выполнения этого шага позволят оценить, насколько успешно был реализован проект, то есть была ли достигнута и были ли реализованы задачи, поставленные перед сайтом. Поэтому цель и задачи должны быть сформулированы конкретно и чётко — в случае абстрактного и обобщённого определения цели и задач оценка итогового результата может быть затруднительной и иметь высокую степень субъективности. Это может привести к конфликтам во взаимоотношениях между проектировщиком и заказчиком, а также к некорректным результатам на следующих шагах.

2. Исследование контекста.

Сегодня цифровые продукты, в том числе веб-сайты, проектируются для пользователя с учётом его потребностей. От успеха пользователя в достижении преследуемой им цели и полученного им общего впечатления от пользования сайтом зависит успешность сайта с точки зрения бизнеса [13]. Так для успешного проектирования сайта необходимо определить, кто является конечным пользователем и какие потребности возникают у конечного пользователя, то есть исследование контекста использования сайта.

ГОСТ 34.601-90 [14] характеризует этот шаг как «Изучение объекта» и «Проведение необходимых научно-исследовательских работ», что включает в себя детальное описание объекта проектирования, связанное с поиском путей и оценкой возможности реализации требований пользователя. Однако более подробной информации о содержании данных работ ГОСТ не предлагает, что ещё раз подчеркивает значимость темы текущего исследования.

Суммируя выше сказанное, сущность шага можно представить в виде поиска ответов на следующие вопросы:

- «что мы проектируем?» — определение типа объекта проектирования (действительно ли нужен сайт, к какому типу он относится);
- «кто и как будет этим пользоваться?» — определение целевой аудитории, её потребностей и мотивации, описание предметной области, возможных сценариев использования;
- «какие есть ограничения?» — описание ограничений, накладываемых предметной областью и возможностями заказчика;
- «какие есть конкуренты?» — вопрос, позволяющий дополнительно выявить аналоги, содержащие типовые решения для предметной области, а также определить отличительные особенности сайта.

3. Создание концепции.

«Концепция включает в себя главные идеи и возможности, которые воплощаются в проекте» [15, с. 2]. На основе результатов исследования контекста необходимо представить заказчику созданную концепцию сайта для согласования и проверки соответствия цели и задачам сайта, определённым ранее.

4. Прототипирование.

Результатом этого шага является каркас, который также выступает в качестве результата этапа проектирования в целом, то есть итоговым прототипом. Таким образом, последний шаг представляет собой объединение полученных на предыдущих шагах результатов в единую модель, что является завершающим, синтетическим, процессом этапа проектирования.

Аналитические технологии в проектировании веб-сайтов и проблемы их использования

Аналитика «пронизывает» этап проектирования. Если этап проектирования, соответственно и использование аналитических технологий, в процессе создания сайта опускается, это может привести к критическим последствиям [15]:

1. итоговый результат деятельности в виде разработанного сайта не соответствует цели;
2. большие потери времени и средств из-за необходимости исправления ошибок на более поздних этапах;
3. невыполнение требований заказчика по причине их ненаглядного (для других специалистов) представления.

Таким образом, сбор и анализ информации, а также презентация результатов аналитического исследования ЛПР и команде разработки веб-сайта в доступной форме чрезвычайно важны. Становится очевидной необходимость проведение данного этапа в рамках создания веб-сайта.

Аналитические технологии, применяемые на этапе проектирования, способствуют предотвращению и снижению риска возникновения перечисленных выше последствий. В книге «Методология» под технологиями понимают «систему условий, форм, методов и средств решения поставленной задачи» [16, с. 44]. П.Ю. Петров, кандидат технических наук, предлагает следующее определение понятия «технология» [17]: *технология* — методы, приёмы и способы, т.е. достаточно определенная последовательность действий, целью которых является достижение необходимого результата. Под *аналитическими технологиями* понимается «система знаний, методов, операций и правил, позволяющих на основе привлечения энергетических, сырьевых, технических, интеллектуальных, кадровых, организационных, информационных и прочих ресурсов обеспечить наибольшую **эффективность** того или иного вида деятельности» [18, с. 47].

Представим краткое описание основных технологий, применяемых в проектировании веб-сайтов, на основе обобщения:

- профессионального опыта специалистов в области проектирования веб-сайтов, представленного в научной литературе и сети Интернет;
- профессионального опыта, который имеют авторы работы.

Перечень выявленных аналитических технологий представлен в таблице 2.

Приведём краткое описание каждой технологии, выжив при этом результат, получаемый при его применении.

Технология целеполагания

Несмотря на значимость процесса целеполагания, в научной литературе, к сожалению, опускаются методы, которые могли бы позволить ставить цели более

Таблица 2.

Аналитические технологии, используемые в проектировании веб-сайтов

| Шаг | Технология | Источник предложения |
|------------------------|--|---|
| Целеполагание | Технология целеполагания | — |
| Исследование контекста | Сегментирование пользовательской аудитории | Пашкевич [19], Сабанчук [20], Коротина [21], Киреева [22], Chulakov [23] |
| | Конкурентный анализ | Позднякова [24], Киреева [22], Овчарова [25], Коротина [21], WebValley Studio [26] |
| Создание концепции | Технология построения структурно-логической модели | Коробицин [15], Киреева [22], Бедрина [27], Chulakov [23] |
| Прототипирование | Технология моделирования сайта с помощью вайрфреймов | Коробицин [15], Пашкевич [19], Коротина [21], Киреева [22], Овчарова [25], Антонюк [28], Chulakov [23], WebValley Studio [26] |

эффективно. В качестве инструмента целеполагания для деятельности по проектированию сайта имеет смысл воспользоваться методом дерева целей. При описании содержания проектирования уже были обозначены предпосылки для использования данного метода. Ведь сайт всегда, так или иначе, реализует информационную цель, так как является источником информации. «При построении дерева целей его проектирование идет по методу „от общего к частному“» [12, с. 48]. Также для формулирования целей могут быть использованы метод SMART или другие методы целеполагания.

Результат: сформулированные цели сайта.

Сегментирование пользовательской аудитории

Сегментирование аудитории позволяет выявить группы пользователей, обладающих схожими характеристиками. Соответственно определение сегментов пользователей позволяет выявить основные потребности, которые возникают у пользователей.

В качестве инструмента применяется метод персон, сущность которого заключается в представлении собирательного образа — персонажа, принадлежащего к одному из выделенных сегментов.

Метод персон получил своё развитие в методе построения карт эмпатии. Карты эмпатии — это инструмент визуализации идей, который позволяет посмотреть на продукт с позиции потребителя [29]. В контексте веб-сайтов карты эмпатии позволяют лучше понять пользователя, оценить веб-сайт от его имени, выявить скрытые потребности пользователя.

Для формулирования потребностей пользователей применим метод пользовательских историй (User Story) [30]. Пользовательские истории — это короткие, простые описания функций с точки зрения пользователя. Для формирования описания сценария используется следующий шаблон: как <тип пользователя>, я хочу <потребность пользователя>, чтобы <причина>.

Результат: выделенные и описанные сегменты целевой аудитории (персонажи).

Конкурентный анализ

В условиях высокой конкуренции достижение конкурентного преимущества является необходимостью. Практика конкурентного анализа предполагает получение ответов на следующие вопросы [31]:

- каковы технико-экономические особенности и движущие силы развития отрасли;
- каковы конкурентные позиции соперников;
- каковы ключевые факторы успеха функционирования в конкурентной среде.

Применяя конкурентный анализ в проектировании веб-сайта, важно исследовать сайтов прямых и косвенных конкурентов и аналогов, выявляя наилучшие практики, используемые в отрасли. Инструментом анализа может послужить матрица SWOT в случае наличия текущего решения. В ином случае можно ограничиться анализом сильных и слабых сторон конкурентов.

Результат: сформулированные успешные решения, используемые на сайтах конкурентов.

Технология построения структурно-логической модели

Структурно-логическая модель — это схема, показывающая, из каких разделов состоит сайт, какие задачи пользователя он решает, и как пользователь будет перемещаться по сайту. Обычно структурно-логическая модель представляет собой схему навигации сайта. Однако, например, для лендинга, имеющего только одну страницу, структурно-логическая модель может быть построена на более высоком уровне детализации — на уровне разделов. Для построения структурно-логической модели можно воспользоваться методом заинтересованных сторон [27], который предлагают Бедрин С.Л., Маслюк А.В. и Леонова А.А. Результаты использования метода используются для разработки структуры и наполнения сайта.

Метод заинтересованных сторон основывается на результатах применения технологии сегментирования целевой аудитории. Каждый персонаж — это заинтересованная сторона, потребности которого должны быть

учтены. Авторы статьи предлагают сформулировать требования каждой заинтересованной стороны с помощью метода мозгового штурма. Для формирования разделов сайта схожие требования объединяются в общие группы. Разделы сайта необходимо связать между собой, что должно быть отражено в структурно-логической модели сайта.

Результат: структурно-логическая модель сайта.

Технология моделирования сайта с помощью вайрфреймов

Каркас (вайрфрейм, wireframe) — это набросок, который позволяет создать большое количество концептов, правильно логически построенных и структурированных [22]. Вайрфрейм позволяет отобразить основной функционал и содержание сайта без отвлекающих факторов в виде различных стилей текста, большого количества графических элементов. Несколько каркасов могут быть объединены в вайрфлоу (wireflow), представляющий собой схему взаимодействия пользователя с сайтом. На основе каркасов может быть также «собран» интерактивный прототип, позволяющий взаимодействовать с набросками.

Несмотря на предрасположенность компаний к активному внедрению аналитического цикла и применению аналитических технологий на этапе проектирования, команда проекта сталкивается с рядом проблем.

1. Внедрение аналитической деятельности

Конечно, применение аналитических технологий при проектировании сайтов требует дополнительных ресурсов. Часто неопытные исполнители сразу стараются перейти к полноценным макетам, которые устроят заказчика [28] или готовому продукту. При возникновении правок, которые заказчик хочет внести в демонстрируемое ему решение, есть высокий риск потерять время и соответственно бюджет на ресурсозатратные правки.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что наблюдаются трудности во внедрении аналитики в процесс создания сайта. То есть, компания (или команда проекта) не может сформулировать чёткое обоснование необходимости и подход к проведению аналитических исследований предметной области и выполнение других шагов этапа проектирования. По своей сути проблема заключается в некотором «игнорировании» этапа аналитики.

2. Некорректное применение аналитических технологий

Неподготовленный специалист с высокой долей вероятности допустит ошибки при использовании анали-

тических технологий. Ошибки возможны и на более высоком, методическом, уровне.

3. Сложность выявления требований

Если предыдущая проблема была связана с недостаточным уровнем компетенций проектировщиков в сфере аналитики, то проблема сложности выявления требований затрагивает и профессиональных аналитиков, занимающихся проектированием веб-сайтов. Команда проекта и заказчик могут испытывать трудности в достижении согласия, так как часто заказчик не может расставить сразу корректные приоритеты тех или иных целей, которые должны быть достигнуты посредством сайта. Для 21% опрашиваемых компаний сложность вызывает получение «единой картины проекта» между заказчиком и разработчиками [32]. Использование аналитических технологий упрощает процесс определения требований к веб-сайту.

Перечисленные проблемы препятствуют успешному использованию аналитических технологий в проектировании сайтов. Проектировщик выступает некоторым «связующим звеном» между пользователями, клиентом и командой разработки. И чтобы связать «звенья» вместе проектировщик должен знать и уметь применять аналитические технологии. Так возникает необходимость в формулировании некоторого алгоритма, позволяющего разрешить указанные проблемы.

Алгоритм проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий

Выявленные ранее проблемы подтверждают, что существует потребность в улучшении процесса проекти-

рования веб-сайтов. В качестве представления результатов такого обобщения был выбран алгоритм.

Концепция алгоритма

Алгоритм должен помогать проектировщику раскрыть основные аспекты веб-сайта как объекта проектирования. Концепция алгоритма на основе представлена в виде интеллектуальной карты (рис. 2).

Концепция определяет взаимосвязи между элементами и порядок их определения. Как уже упоминалось ранее, первым шагом проектирования является целеполагание. При этом имеет смысл определять ключевую цель создания сайта для обеспечения их приоритизации. Выбор типа сайта осуществляется на основе целей. После чего проводится исследование предметной области, результаты которого используются для описания целевой аудитории.

При выборе алгоритма авторы работы преследовали цель сократить временные затраты при применении аналитических технологий. Привнесение изменений в технологии представляется возможным с помощью выявления тех методов, применение которые является наименее трудозатратным. Ранее в работе было приведено описание аналитических технологий, а также методы, которые в них используются. Для сокращения временных затрат при использовании алгоритма будут исключены методы, оценка времени применения которых является наивысшей. Конечно, само понятие технологии предполагает, что минимальные затраты уже были достигнуты. Однако в работе будет проведено исследование, которое подтвердит или опровергнет этот тезис в рамках проектирования веб-сайтов.

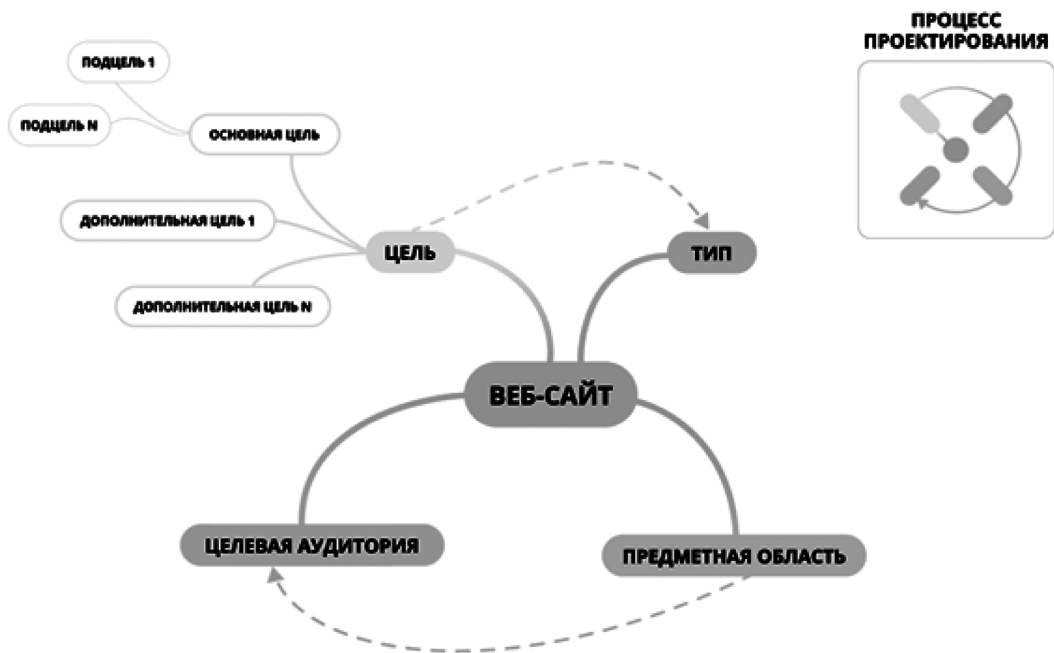


Рис. 2. Концепция алгоритма проектирования

В таблице 3 приведена оценка методов по количеству затраченных временных ресурсов, исходя из проведенного анализа использования аналитических технологий в проектировании веб-сайтов, а также экспертной оценки. В качестве экспертов выступали практикующие специалисты в области проектирования веб-сайтов с опытом работы более 3 лет (4 респондента) и опытом работы от 1 год до 3 лет (4 респондента). Оценка выставлялась по шкале от 1 до 5, где 1 — применение метода требует незначительных временных ресурсов, а 5 — применение метода требует значительных временных ресурсов.

Таблица 3.

Оценка затрат методов, используемых в аналитических технологиях

| Шаг проектирования | Технология | Метод | Ср. оценка временных затрат |
|---------------------------|---|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. Целеполагание | Целеполагание | Дерево целей | 1.50 |
| | | SMART | 1.75 |
| 2. Исследование контекста | Сегментирование целевой аудитории | Метод персон | 4.00 |
| | | Карта эмпатии | 3.63 |
| | | User Story | 2.88 |
| | Конкурентный анализ | SWOT | 3.71 |
| 3. Создание концепции | Построение структурно-логической модели | Метод заинтересованных сторон | 3.63 |
| 4. Прототипирование | Моделирование сайта с помощью вайрфреймов | Метод построения вайрфреймов | 4.50 |
| | | Метод построения вайрфлоу | 4.75 |

На основе представленных оценок, составим алгоритм действий, требуемых для достижения цели в виде создания прототипа веб-сайта (таблица 4).

Выбранный алгоритм обладает рядом преимуществ. Во-первых, выделение четкой последовательности шагов упрощает процесс внедрения аналитики в цикл создания веб-сайта. Алгоритмизация деятельности — это одна из основообразующих компонент аналитической работы. В случае изменения требований заказчика или внешней среды есть возможность дать быструю оценку, на какие именно шаги это повлияло и своевременно внести изменения в результаты деятельности.

Во-вторых, алгоритм предполагает возможное применение аналитических технологий неспециалистами. Большинство методов, используемых в технологиях, имеют визуальное отображение результата, в частности, в виде схемы, без использования технических спецификаций. Это позволяет технически и аналитически

Таблица 4.

Алгоритм проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий

| Шаг проектирования | Действия |
|--|--|
| 1. Целеполагание | 1.1. Технология целеполагания |
| | 1.1.1. Формулирование цели и подцелей с помощью метода дерева целей |
| | 1.1.2. Определение требований заказчика |
| | 1.1.3. Выбор типа сайта на основе целей и требований заказчика |
| 2. Исследование контекста | 2.1. Сегментирование пользовательской аудитории |
| | 2.1.1. Сбор информации о пользователях с помощью общенаучных методов (анкетирование, опрос, интервью, наблюдение, анализ документов) и метода персон |
| | 2.1.2. Выделение сегментов на основе анализа информации |
| | 2.1.3. Определение пользовательских требований с помощью метода User Story |
| | 2.2. Конкурентный анализ |
| | 2.2.1. Определение границ предметной области на основе общенаучных методов (экспертная оценка, анализ документов) |
| | 2.2.2. Сбор информации о конкурентных решениях и текущем решении при наличии с помощью общенаучных методов (наблюдение, анализ документов) |
| 2.2.3. Метод SWOT-анализа / анализ сильных и слабых сторон | |
| 3. Создание концепции | 3.1. Технология построения структурно-логической модели |
| | 3.1.1. Метод заинтересованных сторон |
| 4. Прототипирование | 4.1. Технология моделирования сайта с помощью вайрфреймов |
| | 4.1.1. Построение вайрфреймов |

«неподкованным» участникам проекта (например, дизайнер, заказчик) быстро считать результаты анализа и сложить «единую картину» веб-сайта. В конечном итоге это способствует более четкому формулированию требований со стороны заказчика. К тому же, при всей своей «насыщенности» алгоритм ориентирован на применение наименее ресурсозатратных методов.

В-третьих, выбранный алгоритм не требует участия пользователя. Определение метода сбора информации определяет проектировщик. В случае невозможности получить доступ к представителям целевой аудитории или в случае иных причин, не позволяющих провести интервью, опрос или анкетирование, проектировщик может выбрать иной общенаучный метод, не требующий непосредственного участия пользователей.

Оценка применения алгоритма проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий на примере сайта кафедры

Для проверки предположения о выявлении потребностей пользователей сайта в достаточном объёме при применении алгоритма проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий с помощью алгоритма был спроектирован вайрфрейм главной страницы сайта кафедры. При этом при проектировании для достижения более «жестких» условий оценки алгоритма не были использованы общенаучные методы, предполагающие взаимодействие с потенциальными пользователями. Для оценки успешности применения алгоритма, был выбран метод опроса. Так как предполагаемая посещаемость сайта составляет в среднем 2000 уникальных пользователей в месяц, в выборке для опроса участвовало 3 % потенциальных пользователей, а именно 60 человек. 76.7 % респондентов принадлежит к такому сегменту целевой аудитории, как студент кафедры. У 76.7 % опрошенных возникла потребность в посещении сайта факультета или кафедры, что подтверждает необходимость создания сайта (рис. 3).

Для выделенных сегментов, несмотря на небольшой объём выборки, подтверждается их роль в качестве потенциальных пользователей сайта.

Среди причин посещения сайта выделяются:

- просмотр учебного плана (12 упоминаний);
- преподаватели: контакты, расписание (12 упоминаний);

- информация, необходимая для поступления (10 упоминаний);
- «желание узнать кафедру получше»: ценности и деятельность кафедры (8 упоминаний).

Потребности пользователей на основе ответов были распределены на три группы с пороговым значением для классификации в 80 %, 50 % и 30 %. Так как вопрос был открытым, поступили такие предложения по содержанию сайта, как «информация о лаборатории» и «учебные материалы». Такой контент не был изначально предусмотрен в структурно-логической модели сайта.

Так как вайрфрейм в первую очередь отображает структуру и содержание веб-сайта, респондентам было предложено оценить каркас по этим характеристикам. Для оценки была использована 10-балльная шкала, где 10 соответствует значению «пользовательские ожидания совершенно оправдались». Средняя оценка структуры спроектированного вайрфрейма составляет 9.03, средняя оценка содержания составляет 8.3. Большинство пояснений к оценке содержали такие выражения, как «структурно» и «логично». Общая оценка вайрфрейма составляет 8.7.

На основе результатов исследования можно сделать вывод о возможности применения выбранного алгоритма в проектировании сайтов. С помощью алгоритма может быть успешно спроектирована структура сайта, отвечающая потребностям пользователей. Однако для содержательной составляющей требуется общение с пользователями. Это один из ключевых недостатков не только алгоритма, но и проектирования без прямо-

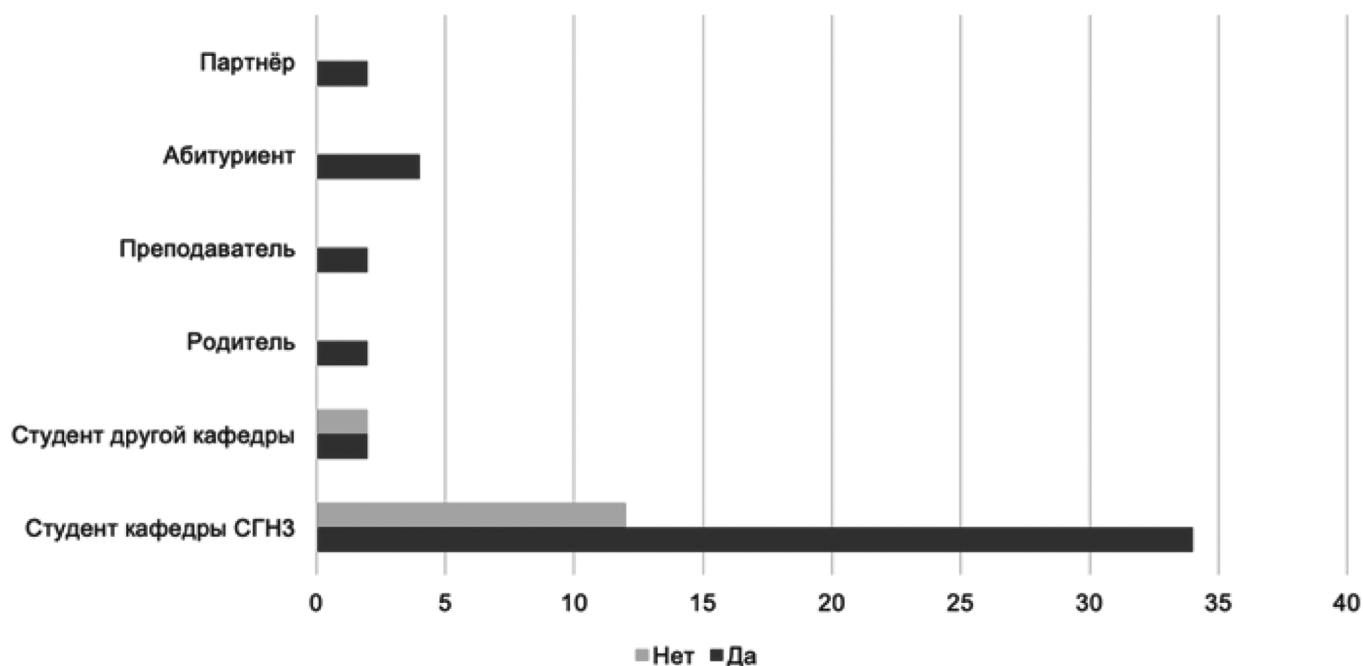


Рис. 3. Распределение ответов о необходимости посещения сайта

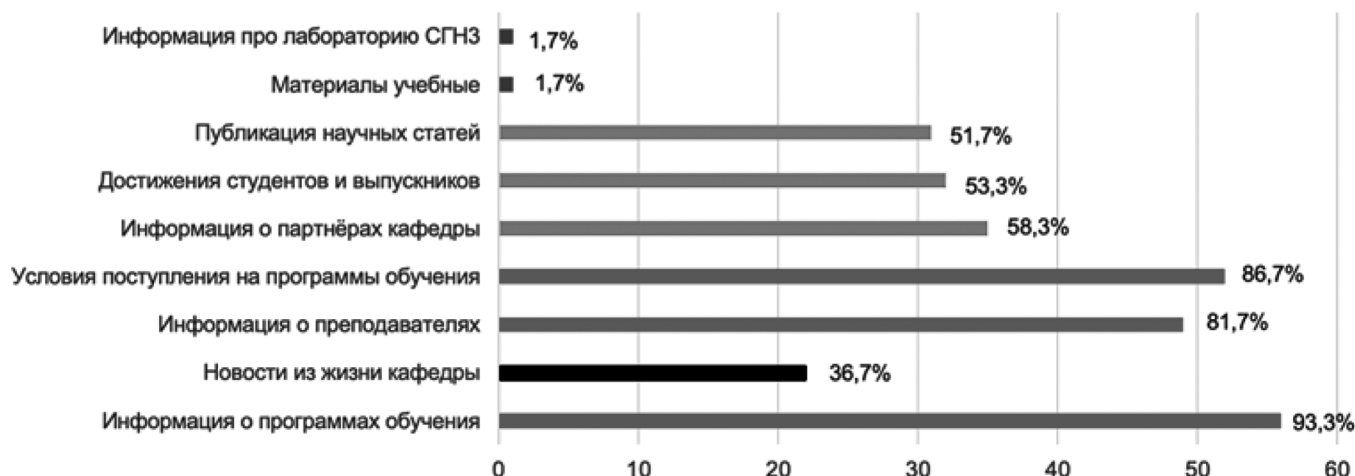


Рис. 4. Распределение потребностей пользователей

го участия пользователей в анализе в целом. Поэтому в качестве дополнения алгоритма рекомендуется проведения исследования целевой аудитории с помощью метода опроса, интервью, фокус-групп или иного метода, предполагающего участие пользователей.

Так гипотеза о сокращении временных затрат в проектировании, результат которого отвечает потребностям пользователей в достаточном объёме, была подтверждена. Для улучшения содержательной составляющей веб-сайта алгоритм может быть дополнен включением методов анализа целевой аудитории, предполагающих непосредственное участие пользователей.

Заключение

Тема использования аналитических технологий в проектировании веб-сайтов сегодня становится особенно актуальной. Человек сегодня — это активный пользователь сайтов. Современный подход к созданию сайтов предполагает ориентацию на пользователя и его потребности.

В настоящей работе был выбран алгоритм проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий. Было проведено исследование

подходов к содержанию понятия проектирования. Была обоснована необходимость этапа проектирования, на основе анализа литературных источников выявлены аналитические технологии, применимые на этапе проектирования, и описаны проблемы их использования.

На основе анализа литературных источников и метода экспертной оценки авторы работы сформулировали алгоритм проектирования веб-сайтов на основе использования аналитических технологий. Была выдвинута гипотеза о выявлении потребностей пользователей в достаточном объёме при сокращении временных затрат, которое предполагает применение алгоритма. Для проверки гипотезы был использован метод опроса. Гипотеза была подтверждена и было выдвинуто предложение о дальнейшем развитии алгоритма в виде его дополнения методами анализа, предполагающими участие пользователей.

Таким образом, полученные в ходе исследования результаты могут быть использованы в дальнейшем для разработки методики проектирования веб-сайтов. Впоследствии алгоритм может быть доработан для случаев проектирования более «сложных» веб-сайтов, включающих в себя множество веб-приложений, и для веб-приложений в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO/IEC/IEEE 23026:2015 Systems and software engineering — Engineering and management of websites for systems, software, and services information.
2. Об информации, информационных технологиях и о защите информации [Электронный ресурс] : федеральный закон от 27 июля 2006 № 149-ФЗ (последняя редакция) // КонсультантПлюс : справ. правовая система.
3. Internet Live Stats: Проект статистики в реальном времени. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://www.internetlivestats.com/total-number-of-websites/#trend> (дата обращения: 04.04.2024).
4. О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 — 2030 годы [Электронный ресурс] : указ Президента Рос. Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 // КонсультантПлюс : справ. правовая система.
5. ISO 9241-210:2019(en) Ergonomics of human-system interaction — Human-centred design for interactive systems.
6. W3Techs — World Wide Web Technology Surveys — Traffic Analysis Tools. — Обновляется в течение суток. — URL: https://w3techs.com/technologies/overview/traffic_analysis (дата обращения: 04.04.2024).

7. Wix Usage Statistics — BuiltWith Pty Ltd. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://trends.builtwith.com/cms/Wix> (дата обращения: 04.04.2024).
8. Розин В.М. К построению понятия проектирования // Урбанистика. 2018. №1.
9. Luke R. Following a web design process // Smashing Magazine. 2011. URL: <https://www.smashingmagazine.com/2011/06/following-a-web-design-process/> (дата обращения: 04.04.2024).
10. Гринберг А.С., Король И.А. Информационный менеджмент: учебное пособие. Москва: Юнити-Дана, 2017. 416 с. ISBN 5-238-00614-4.
11. Купер А., Рейманн Р.М., Кронин Д. Алан Купер об интерфейсе. Основы проектирования взаимодействия. СПб.: Символ-Плюс, 2009. 688 с.
12. Ремарчук В.Н. Информационная аналитика: теория, методология, технологии: учебник для вузов. СПб.: Лань, 2022. 224 с. ISBN 978-5-8114-8827-8.
13. Мартынова А.А. Использование когнитивных искажений при разработке интерфейсов как способ улучшения пользовательского опыта // Аналитические технологии в социальной сфере: теория и практика: Материалы научной конференции «Социально-аналитические технологии в современном российском обществе». М.: 2020. С. 104–111.
14. ГОСТ 34.601-90. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.
15. Коробин И.С. Роль проектирования в цепочке этапов создания сайта // Вестник научных конференций. 2015. № 4-4(4). С. 77–79. EDN VKEIMT.
16. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. М.: СИНТЕГ. 668 с.
17. Петров П.Ю. Сущность и основные виды технологий // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 9–5. С. 132–136.
18. Курносов Ю.В., Конотопов П.Ю. Аналитика: методология, технологические и организационные аспекты информационно-аналитической работы. М., 2004.
19. Пашкевич, А.Л. Проектирование пользовательского интерфейса сайта / А.Л. Пашкевич, А.А. Ветров // Инновации в науке и практике: Сборник статей по материалам VII международной научно-практической конференции. В 5-ти частях, Барнаул, 28 апреля 2018 года. Барнаул: Общество с ограниченной ответственностью Дендра, 2018. С. 182–185. EDN XYREUP.
20. Сабанчук К.И., Самарин Ю.Н. Методика разработки веб-сайтов для принтмедиаиндустрии // Евразийское Научное Объединение. 2019. № 6-2(52). С. 105–108. EDN DTCXDM.
21. Коротина Н.Е., Марченко М.Н. Особенности проектирования и анализ структуры сайтов электронных магазинов // Наукосфера. 2022. № 1-1. С. 214–218. EDN SUBUZX.
22. Киреева Ю.А. Методика проектирования дизайна интерфейсов мобильных приложений // Лучшая научная статья 2021: сборник статей XLVI Международного научно-исследовательского конкурса, Пенза, 25 декабря 2021 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021. С. 17–21. EDN MMNTUJ.
23. Официальный сайт студии Олега Чулакова [Электронный ресурс]. — URL: <https://chulakov.ru/> (дата обращения: 04.04.2024).
24. Позднякова Т.Ю., Ланщикова Г.А. Технология обучения студентов-дизайнеров проектированию веб-сайтов // Инновации в профессиональном и профессионально-педагогическом образовании: материалы 25-й Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 07–08 апреля 2020 года. Екатеринбург: Российский государственный профессионально-педагогический университет, 2020. С. 296–299. EDN IPZSQZ.
25. Овчарова П.С. Образовательный портал Bunch (Банч) — новые возможности в сфере дистанционного образования // Вестник Московской международной академии. 2020. № 1-2. С. 80–87. EDN YBXDRU.
26. Официальный сайт студии WebValley Studio [Электронный ресурс]. — URL: <https://web-valley.ru/> (дата обращения: 04.04.2024).
27. Бедрина С.Л., Маслюк А.В., Леонова А.А. Методика разработки структуры и наполнения сайта организации, основанная на требованиях заинтересованных сторон // Фундаментальные исследования. 2015. № 7-1. С. 106–110. EDN UDXTSV.
28. Антонюк И.С., Гречина А.А., Прокопенко Н.К. и др. Основные проблемы на этапах разработки сайта // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2016. Т. 1. С. 52–56. EDN WFQNKD.
29. Колонтаевский О.П., Половинка В.А. Анализ методов описания и сегментации целевой аудитории для мероприятий интернет-маркетинга // Международный научный журнал Интернаука. 2018. Т. 2. № 6(46). С. 22–24. EDN YVTLZR.
30. Кийкова Е.В., Лаврушина Е.Г., Еременко А.В. Методические рекомендации по управлению требованиями на разработку веб-сайтов // Современные наукоемкие технологии. 2016. № 12-3. С. 491–495. EDN YGYAKF.
31. Иванов Н.И., Фукова Д.Ю. Конкурентный анализ. Бенчмаркинг // Экономический анализ: теория и практика. 2009. №22.
32. Palomares, C., Franch, X., Quer, C. et al. The state-of-practice in requirements elicitation: an extended interview study at 12 companies. Requirements Eng 26, 273–299 (2021).

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Мартынова Анна Александровна (anja.a.martynova@yandex.ru);
Ляшков Кирилл Александрович (kirill21337@ya.ru); Ларин Иван Сергеевич (larin.u@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПОИСКА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГРАФОВ NSG И HNSW

COMPARATIVE ANALYSIS OF GRAPH-BASED NEAREST NEIGHBOR SEARCH ALGORITHMS NSG AND HNSW

**B. Goryachkin
A. Pavlovskaya
Yu. Grigoriev**

Summary. In this paper, two graph-based nearest neighbor search algorithms are discussed: NSG (Navigating spreading-out graph) and HNSW (Hierarchical navigable small world). The relevance of the K-NNS method in modern technologies is substantiated, and specific examples of the application of neighbor search methods are given. Justification for the effectiveness of using graph structures to search for K nearest neighbors is given. Theoretical calculation of the time and volume complexity of the HNSW and HSG algorithms, as well as the quantitative characteristics of the Python implementation, was performed. The obtained theoretical values were confirmed experimentally. It is concluded that NSG is a more reliable algorithm in the case of large data volumes, but it uses more memory for graph construction per stage than HNSW.

Keywords: K-NNS, K nearest neighbors search, graph-based NNS, NSG, Navigating Spreading-out Graph, HNSW, Hierarchical navigable small world.

Введение

В настоящее время объем информации, нуждающейся в обработке, постоянно растет. Это закономерно привело к необходимости использования эффективных алгоритмов поиска, снижающих затраты на просмотр всего объема данных.

Одним из известных методов является поиск ближайшего соседа (K-NNS), суть которого заключается в поиске в некотором метрическом множестве K элементов, расположенных ближе всего к заданному. Мера близости является функцией, задаваемой предметной областью: чем меньше значения близости, тем более схожими можно считать сравниваемые элементы и наоборот. Проблема поиска ближайшего соседа встречается в множестве областей, например, в задачах распознавания образов,

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

Павловская Анастасия Андреевна
Московский государственный технический
университет им. Н.Э. Баумана
raa4851@gmail.com

Григорьев Юрий Александрович
д.т.н., профессор, Московский государственный
технический университет им. Н.Э. Баумана
grigorev@bmstu.ru

Аннотация. В данной работе рассмотрены два алгоритма поиска ближайших соседей с использованием графов: NSG (Navigating Spreading-out Graph) и HNSW (Hierarchical navigable small world). Обоснована актуальность метода поиска ближайших соседей в современных технологиях, приведены конкретные примеры применения алгоритмов поиска соседей. Приводится обоснование эффективности применения графовых структур для поиска K ближайших соседей. Выполнен теоретический расчет временной и емкостной сложности алгоритмов HNSW и HSG, а также количественных характеристик конкретной реализации на Python. Полученные теоретические значения были подтверждены экспериментально. Был сделан вывод о том, что NSG является более предпочтительным вариантом в случае больших объемов данных, но использует больше памяти для стадии построения графа, чем HNSW.

Ключевые слова: K-NNS, поиск K ближайших соседей, основанные на графах методы поиска ближайших соседей, NSG, Navigating Spreading-out Graph, HNSW, Hierarchical navigable small world.

классификации объектов, рекомендательных системах, задачах сжатия данных, размещении рекламы в сети Интернет, семантического поиска и др.

Однако, сложность классического подхода к алгоритму K-NNS растет линейно в зависимости от количества хранимых элементов и размерности этих элементов, что для крупномасштабных данных зачастую приводит к слишком долгой обработке или большим объемам требуемой памяти, к значительным потерям в точности. Поэтому стала актуальной проблема разработки наиболее эффективных и быстрых алгоритмов поиска.

Методы поиска ближайшего соседа с использованием графов значительно снижают сложность вычислений и ускоряют процесс получения результата. К таким методам относятся, например, GNNS [1], IEN [2], Efanna [3],

FANNG [4], RNG [5], NSG [6] и HNSW [7]. В данной работе будет проведен анализ и сравнение HNSW и NSG с целью выявления особенностей, преимуществ, недостатков и возможных вариантов применения.

Описание выбранных методов

Navigating Spreading-out Graph

NSG [6] — это основанный на графе алгоритм приближенного поиска ближайших соседей (ANNS). Он основан на аппроксимации графовой структуры Monotonic Relative Neighborhood Graph (MRNG). NSG устанавливает центральное положение в качестве навигационной вершины, а затем использует определенную стратегию выбора краев для управления степенью отклонения каждой точки. Таким образом, это может уменьшить использование памяти и быстро определить местоположение цели поблизости во время поиска векторов.

Хотя MRNG может гарантировать малое время поиска, его высокое время индексирования непрактично для проблем большого масштаба. Поэтому был предложен практический подход построения приближенного MRNG, названный Navigating Spreading-out Graph (NSG). Алгоритм построения NSG состоит из следующих шагов:

1. Построить kNN граф одним из популярных в данное время методов
2. Найти приближенный медоид датасета:
 - 2.1. Рассчитать центроид датасета
 - 2.2. Принять его за запрос, выполнить поиск по kNN-графу и принять возвращенного ближайшего соседа как приближенный медоид. Эта вершина называется навигационной вершиной, потому что все поиски будут начинаться с этой конкретной вершины
3. Для каждой вершины сгенерировать множество кандидатов в соседи и выбрать соседей из множеств кандидатов. Это можно сделать следующими шагами:
 - 3.1. Для каждой вершины p принять ее за запрос и выполнить поиск по графу, начиная с навигационной вершины на заранее построенном графе kNN.
 - 3.2. Во время поиска каждую посещенную вершину q (то есть такую, расстояние от которой до p рассчитывалось) добавить в множество кандидатов (расстояние также сохраняется)
 - 3.3. Выбрать m ближайших соседей для p из множества кандидатов с помощью стратегии выбора ребер MRNG
4. Выполнить поиск в глубину (Depth-First-Search) [8] на графе, полученном на предыдущих шагах, при этом принять навигационную вершину как корень дерева. Когда DFS завершится проверить, есть ли вершины, которые не были затронуты поиском.

Если такие вершины есть, соединить их с их приближенными ближайшими соседями, которые были затронуты поиском, и продолжить DFS.

Стратегия выбора ребер в MRNG принимает все остальные вершины в S как кандидатов в ближайшие соседи текущей вершины, что приводит к большой сложности вычислений по времени. Для ускорения этого процесса в NSG генерируется небольшое множество кандидатов для каждой вершины.

Так как процесс построения точного NNG занимает много времени, используется приближенный kNN граф. В нем допустимо, чтобы только несколько вершин не были соединены со своими ближайшими соседями.

Так как поиск в NSG всегда начинается с навигационной вершины n , для данной вершины p нужно рассматривать только те вершины, которые находятся на пути поиска от m к p . Поэтому p принимается как запрос и выполняется поиск на заранее построенном kNN графе. Вершины, затронутые поиском, и ближайшие соседи вершины p сохраняются как кандидаты (рис. 1). Вершины, формирующие монотонный путь от m до p имеют большой шанс быть добавленными в кандидаты. Затем производится стратегия выбора ребер MRNG на этих кандидатах, и есть большая вероятность, что NSG наследует монотонный путь MRNG от m до p .

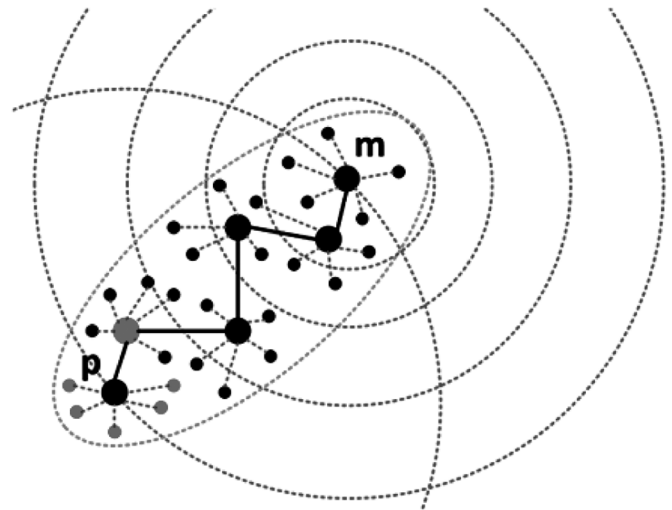


Рис. 1. Кандидаты для выбора ребра в NSG

Для параметров NSG введем следующие обозначения:

N — количество элементов исходного набора данных и количество вершин в графе.

G — объект NSG, хранящий структуру графа.

G имеет следующие входные параметры:

K_conns — количество устанавливаемых соединений на вершину на стадии инициации;

L_constr — размер пула кандидатов для жадного поиска;

m — максимальная полустепень исхода вершины (максимальное количество исходящих соединений). Параметр m вводится для того, чтобы решить проблему с вершинами, имеющими очень много исходящих из них ребер. Количество исходящих ребер для всех вершин ограничено параметром $m \ll n$ с помощью удаления длиннейших ребер. Как следствие, после такого вмешательства связность графа больше не гарантируется.

G имеет следующие поля:

G.indexes — список индексов всех вершин;

G.data — список, содержащий векторы, ассоциированные с вершинами;

G.B — список исходящих связей каждой вершины;

G.R — список входящих связей каждой вершины;

G.NNs — общий список соседей вершины;

G.navigating_node — индекс навигационной вершины NSG.

Функция поиска в NSG имеет следующие основные входные параметры:

I — размер пула кандидатов для жадного поиска;

K — количество ближайших соседей для возврата;

В алгоритме NSG указано, что стадию инициализации можно выполнить любым из популярных методов построения аппроксимации kNN графа. Одним из таких методов является NuRec [9][10], и он будет применяться в данной работе в начальной стадии NSG.

NuRec использует подход случайного выбора K вершин как K кандидатов в ближайшие соседи для каждой вершины. Сначала всем вершинам назначаются случайные соседи. Пусть N_u содержит аппроксимацию текущих k ближайших соседей вершины u . Множество кандидатов получается за счет объединения трех множеств:

- N_u — текущая аппроксимация ближайших соседей вершины u
- текущие ближайшие соседи вершин в N_u
- k случайных вершин

Установив конкретный размер множества кандидатов, можно ограничить стоимость расчетов. Использо-

вание случайных вершин предотвращает поиск от попадания в локальный минимум. Для NSG можно оставить только одну итерацию для каждой вершины, так как дальнейшее построение по алгоритму NSG исправляет неточности и занимает больше времени.

Hierarchical navigable small world

Hierarchical NSW, HNSW [7] — подход к поиску K ближайших соседей, основанный на графах NSW [11] (Navigable small world) с управляемой иерархией. Данное решение полностью основано на графах, без необходимости каких-либо дополнительных структур для поиска. HNSW инкрементно строит многоуровневую структуру, состоящую из иерархического множества графов близости (уровней, слоев) для подмножеств храняемых элементов.

Идея алгоритма HNSW заключается в том, чтобы разделить связи, основываясь на масштабе их длины, в отдельные уровни, и затем проводить поиск в многоуровневом графе. В данном случае можно оценивать только необходимую часть связей для каждого элемента независимо от размера сети. В такой структуре поиск начинается с верхнего уровня, который имеет только самые длинные связи. Алгоритм жадно следует через элементы верхнего уровня, пока не будет достигнут локальный минимум (рис. 2). После этого поиск перемещается на уровень ниже (который имеет более короткие связи) и начинается заново с того элемента, который был локальным минимумом на прошлом уровне, и процесс повторяется. Максимальное количество связей на элемент на слое может регулироваться константой, что позволяет достичь логарифмической временной сложности поиска в сети NSW.

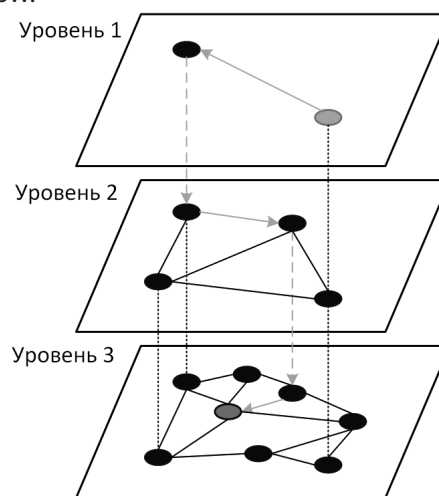


Рис. 2. Поиск в HNSW

Для параметров HNSW введем следующие обозначения:

N — количество элементов исходного набора данных и количество вершин в графе.

G — объект HNSW, хранящий структуру графа.

G имеет следующие входные параметры:

M — количество устанавливаемых соединений на вершину;

m_L — нормализующий параметр для генерации максимального уровня присутствия элемента;

Mmax — максимальное количество соединений на вершину на уровне (так как при добавлении входящих связей количество соседей может превысить M);

efConstruction — размер динамического списка кандидатов;

G имеет следующие поля:

G.indexes — список индексов всех вершин;

G.data — список, содержащий векторы, ассоциированные с вершинами;

G.NNs — общий список соседей вершины;

G.layers — список, содержащий индексы вершин по уровням HNSW;

G.enter_point — индекс навигационной вершины NSG.

Функция поиска в HNSW имеет следующие основные входные параметры:

K — количество ближайших соседей для возврата;

ef — размер динамического списка кандидатов;

Алгоритм построения графа основан на последовательном добавлении хранимых элементов в граф. Для каждого добавляемого элемента случайно выбирается максимальный уровень (слой) с экспоненциально затухающим распределением вероятности (нормализованным параметром m_L):

$$l \leftarrow \lceil -\ln(\text{unif}(0..1)) \cdot m_L \rceil$$

Первая фаза процесса добавления элементов начинается с верхнего уровня, путем жадного поиска по графу, чтобы найти ef ближайших соседей к добавляемому элементу q на слое. После этого, алгоритм продолжает поиск на следующем слое, используя найденных на пре-

дыдущем слое ближайших соседей как точки входа, и процесс повторяется.

Ближайшие соседи на каждом слое находятся с помощью варианта алгоритма жадного поиска. Чтобы получить приближенных ef ближайших соседей на уровне l , во время поиска сохраняется динамический список W, содержащий ef ближайших найденных элементов (первоначально заполненный точками входа). Список W обновляется на каждом шаге с помощью оценивания соседей ближайшего не оцененного ранее элемента в списке, до тех пор, пока соседи каждого элемента в списке не оказываются оценены. Условие остановки в HNSW позволяет избавляться от кандидатов на оценивание, которые дальше от запроса, чем самый дальний элемент в списке W.

Во время первой фазы поиска параметру ef установлено значение 1 (простой жадный поиск), чтобы избежать добавления лишних параметров.

Когда поиск достигает уровня, который меньше либо равен l, начинается вторая фаза алгоритма построения графа. Вторая фаза отличается от первой следующим: 1) параметр ef увеличивается от 1 до efConstruction, чтобы контролировать метрику recall процедуры жадного поиска; 2) найденные ближайшие соседи на каждом слое также используются как кандидаты для соединения с добавленным элементом.

Возможно использование двух методов выбора M соседей из кандидатов: простое соединение с ближайшими элементами и эвристика, которая учитывает расстояния между элементами-кандидатами для создания связей в различных направлениях.

Алгоритм поиска приближенных K ближайших соседей, используемый в HNSW, является грубым эквивалентом алгоритма добавления вершин на уровне $l = 0$. Различие в том, что ближайшие соседи, найденные на нулевом уровне, которые используются как кандидаты для соединений, здесь возвращаются как результат поиска. Качество поиска контролируется параметром ef.

Сравнительный анализ NSG и HNSW

Для сравнения алгоритмов NSG и HNSW были выбраны следующие параметры:

- Source Lines of Code (SLOC) — количество строк кода
- Количество циклов
- Количество условных переходов
- Временная сложность алгоритма в нотации «O» большое Бахмана-Ландау в зависимости от N — количества элементов в исходном наборе данных, для стадии построения и для стадии поиска.

- Емкостная сложность алгоритма в нотации «O» большое Бахмана-Ландау в зависимости N — количества элементов в исходном наборе данных, для стадии построения и для стадии поиска.

Рассчитаем временную и емкостную сложность для алгоритма NSG. Временную сложность в нотации «O» большое от N будем оценивать для стадии построения графа и для стадии поиска.

NSG (G, data, K_conns, l_constr, m) — конструктор объекта NSG, то есть основной алгоритм, связывающий внутренние функции (рис. 3).

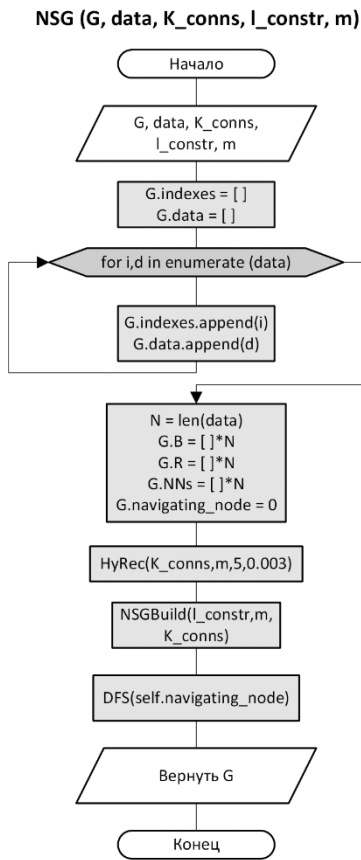


Рис. 3. Общий алгоритм построения NSG

Сначала выполняются две операции присвоения общей сложностью $O(1)$, затем следует цикл по всем элементам набора данных, который повторяется N раз. Внутри цикла каждую итерацию выполняются две операции добавления элемента в конец списка сложностью $O(1)$. Поэтому итоговая сложность цикла составит $O(N)$.

Затем продолжается присвоение значений основным полям объекта, общая сложность этих операций $O(N)$.

Следующий этап — инициализация графа алгоритмом HyRec. Его сложность была вычислена и составляет

$$O(N + d + K_conns^3 * \log K_conns)$$

Дальше наступает этап применения стратегии выбора ребер MRNG — алгоритм с определенной сложностью

$$O\left(N * \log N + K_conns^2 + l_constr * \log l_constr + m^2 + d\right)$$

Последний этап — поиск в глубину по графу с целью обеспечения хотя бы одного пути из навигационной вершины. Его сложность оказалась равна

$$O(N + m + d + l_constr * \log l_constr)$$

Таким образом, **временная сложность построения NSG** от N составляет:

$$NSG_{constr}(N) = O(N * \log N + K_conns^3 * \log K_conns + d + m^2 + l_constr * \log l_constr) = O(N * \log N)$$

Это значит, что функция времени построения от N в NSG будет расти не быстрее, чем $N * \log N * Const$, где Const — некоторая константа.

Поиск по графу NSG использует в качестве параметров размер списка кандидатов l и количество ближайших соседей для поиска K. **Временная сложность поиска по NSG** была рассчитана и равна:

$$NSG_{search}(N) = O\left(\log N + l * \log l + m + d + \log K\right) = O(\log N)$$

Емкостная сложность алгоритма NSG в нотации «O» большое от N можно оценить следующим образом: максимальная по размеру создаваемая алгоритмом построения структура данных, зависящая от N, это список соседей размером $N * m$, что означает, что емкостная сложность построения и поиска по NSG будет составлять $O(N)$. Однако, при построении NSG использует еще 5 структур примерной длиной N, помимо структуры длиной $N * m$.

Рассчитаем временную и емкостную сложность для алгоритма HNSW:

Временную сложность в нотации «O» большое от N будем оценивать для стадии построения графа и для стадии поиска.

HNSW (G, data, M, mL, Mmax, efConstruction, select) — конструктор объекта HNSW, то есть основной алгоритм, связывающий все внутренние этапы (рис. 4).

Во время выполнения функции выполняется несколько операций присваивания значений полям класса сложностью $O(1)$. Помимо этого, выполняются два цикла cycle1 и cycle2.

HNSW (G, data, M, mL, Mmax, efConstruction, select)

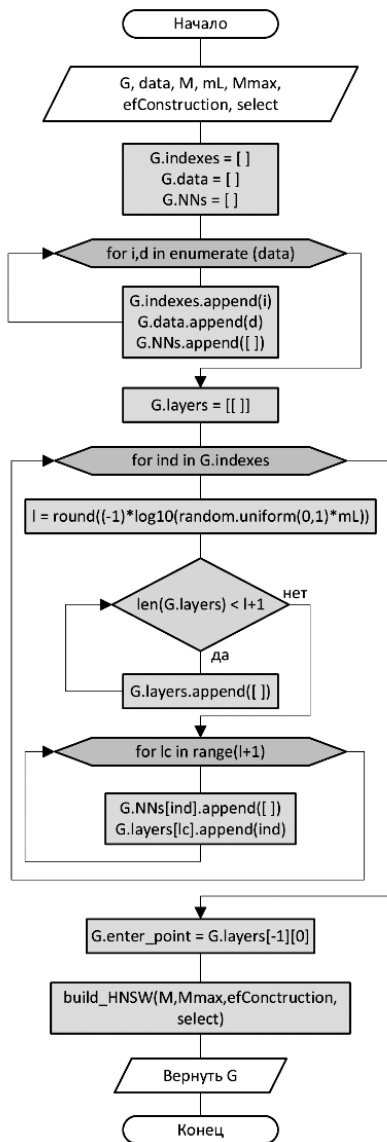


Рис. 4. Общий алгоритм построения HNSW

Цикл *cycle1* N раз повторяет операции сложностью O(1), поэтому его сложность составит O(N).

Цикл *cycle2* повторяется также N раз. Внутри цикла выполняется одна операция присвоения сложностью O(1) и два вложенных цикла *cycle2.1* и *cycle2.2*. Оба цикла выполняются малое число раз, которое можно принять за константу, которая зависит от mL и много меньше N Const << N, при этом внутри них выполняются операции сложностью O(1). Получаем, что сложность цикла *cycle2* составит O(N).

После всех циклов происходит вызов функции построения графа с определенной сложностью O(N * logN).

Таким образом, **временная сложность алгоритма построения HNSW** равна:

$$\begin{aligned}
 HNSW_{constr}(N) &= O(2 * N + N * (\log N + d + M + \\
 &+ Mmax * \log Mmax + efConstruction * \log efConstruction)) = \\
 &= O(2 * N + \log N + d + M + Mmax * \log Mmax + \\
 &+ efConstruction * \log efConstruction) = \\
 &= O(2 * N + N * \log N) = (N * \log N)
 \end{aligned}$$

Поиск по графу HNSW содержит несколько операций общей сложностью O(1), после которых следует цикл *cycle1*, повторяющийся число раз, не зависящее от N и много меньше N, то есть Const << N число раз. На каждой итерации цикл вызывает операцию поиска по слою сложностью O(logN). Поэтому, временная сложность цикла *cycle1* составит O(logN).

После цикла следует еще одна операция поиска по слою сложностью O(logN), операция выбора ближайшего элемента сложностью O(ef * logef + d) и выбор соседей из списка кандидатов сложностью O(d + ef * logef + K).

Таким образом, **временная сложность алгоритма поиска по HNSW** составляет:

$$\begin{aligned}
 HNSW_{search} &= O(\log N + ef * \log ef + d + K) = \\
 &= O(\log N)
 \end{aligned}$$

Емкостная сложность алгоритма HNSW в нотации «O» большое от N можно оценить следующим образом: максимальная по размеру создаваемая алгоритмом построения структура данных, зависящая от N, это список соседей размером N * num_layers * Mmax, что означает, что емкостная сложность построения и поиска по HNSW будет составлять O(N). На стадии построения HNSW использует еще 2 структуры длиной N, помимо структуры длиной N * num_layers * Mmax, что позволяет предположить, что при одинаковой временной сложности HNSW будет использовать меньше памяти на стадии построения, чем NSG (который, как было показано ранее, использует 5 дополнительных структур длиной N).

Таким образом, в ходе выполненных вычислений была получена оценка временных и емкостных сложностей алгоритмов NSG и HNSW (Таблица 1).

Также были оценены количественные характеристики для конкретной реализации на Python 3.8:

- NSG: Source Lines of Code (SLOC) = всего 197, для поиска 50.
- NSG: Количество циклов = 21.
- NSG: Количество условных переходов = 21.
- HNSW: Source Lines of Code (SLOC) = всего 257, для поиска 99.
- HNSW: Количество циклов = 22.
- HNSW: Количество условных переходов = 21.

Таблица 1.

Оценка временных и емкостных сложностей алгоритмов NSG и HNSW

| Алгоритм | Временная сложность построения | Временная сложность поиска | Емкостная сложность построения | Емкостная сложность поиска |
|----------|---|---|--------------------------------|----------------------------|
| NSG | $O(N * \log N + d + m^2 + K_conns^3 * \log K_conns + l_constr * \log l_constr) = O(N * \log N)$ | $O(\log N + l * \log l + m + d + \log K) = O(\log N)$ | O(N) | O(N) |
| HNSW | $O(N * \log N + d + M + Mmax * \log Mmax + efConstruction * \log efConstruction) = O(N * \log N)$ | $O(\log N + ef * \log ef + d + K) = O(\log N)$ | O(N) | O(N) |

На основе полученной информации можно сделать предварительный вывод о том, что NSG при примерно той же временной сложности будет выполнять стадии поиска и построения быстрее, так как содержит меньше строк кода и операторов. Стадии поиска у обоих методов должны использовать примерно одинаковое количество памяти, в то время как стадия построения у HNSW будет менее затратной по памяти, так как в алгоритме используется меньше структур данных длиной N.

Экспериментальное исследование

Для подтверждения полученных результатов расчета временных и емкостных сложностей алгоритмов NSG и HNSW были проведены тесты конкретных реализаций алгоритмов на языке Python 3.8 на различных объемах входных данных N. Данные представляют собой синтетический набор векторов размерностью 25, разделенных на 4 класса.

В ходе тестов замерялись следующие показатели:

t_{constr} — время построения графа, сек;

t_{search} — время поиска по графу, сек;

$peak_memory_{constr}$ — максимальная использованная память во время построения графа, Мб;

$peak_memory_{search}$ — максимальная использованная память во время поиска по графу, Мб;

Результаты тестов HNSW представлены в таблице 2. Для всех N параметры HNSW были следующими: M = 3, Mmax = 6, efConstruction = ef = 7, $m_l = 0,91$, K = 5.

На рис. 5 представлена зависимость t_{constr} от N для HNSW. Можно видеть, что функция $t_{constr}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $N * \log N * Const$, в данном случае Const = 0,08. Теоретическая временная сложность построения HNSW подтверждена.

На рис. 6 представлена зависимость t_{search} от N для HNSW. Можно видеть, что функция $t_{search}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $\log N * Const$, в данном случае

Таблица 2.

Результаты тестов HNSW

| N | t_{constr}^c | t_{search}^c | $peak_memory_{constr}$ Мб | $peak_memory_{search}$ Мб |
|------|----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 10 | 0,0274 | 0,00950 | 0,02904 | 0,02904 |
| 50 | 0,7391 | 0,01719 | 0,02994 | 0,02994 |
| 100 | 1,5150 | 0,02210 | 0,03113 | 0,03590 |
| 200 | 3,7662 | 0,02357 | 0,03191 | 0,03191 |
| 500 | 11,8683 | 0,02747 | 0,03210 | 0,03210 |
| 800 | 22,6070 | 0,03030 | 0,03210 | 0,03210 |
| 1000 | 33,0528 | 0,03101 | 0,03206 | 0,03206 |
| 1500 | 60,5570 | 0,03265 | 0,03812 | 0,03812 |
| 2000 | 89,4688 | 0,03315 | 0,04182 | 0,04182 |
| 2500 | 105,6203 | 0,03471 | 0,04643 | 0,04643 |
| 3000 | 133,0710 | 0,03337 | 0,04661 | 0,04661 |
| 3500 | 167,4600 | 0,03317 | 0,05419 | 0,05419 |
| 4000 | 189,2060 | 0,03450 | 0,05813 | 0,05813 |
| 4500 | 223,3377 | 0,03407 | 0,06222 | 0,06222 |
| 5000 | 281,3915 | 0,03317 | 0,06252 | 0,06252 |
| 5500 | 317,5270 | 0,03503 | 0,06910 | 0,06910 |
| 6000 | 358,7515 | 0,03619 | 0,06997 | 0,06997 |

Const = 0,0035. Теоретическая временная сложность поиска в HNSW подтверждена.

На рис. 7 представлена зависимость $peak_memory_{constr}$ от N для HNSW. Можно видеть, что функция $peak_memory_{constr}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $N * Const$, в данном случае Const = 0,001. Теоретическая емкостная сложность построения HNSW подтверждена.

На рис. 8 представлена зависимость $peak_memory_{search}$ от N для HNSW. Можно видеть, что функция $peak_memory_{search}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $N * Const$, в данном случае Const = 0,00001. Теоретическая емкостная сложность поиска в HNSW подтверждена.

Результаты тестов NSG представлены в таблице 3. Для всех N параметры NSG были следующими: K_conns = 3, m = 6, l_constr = l = 7, K = 5.

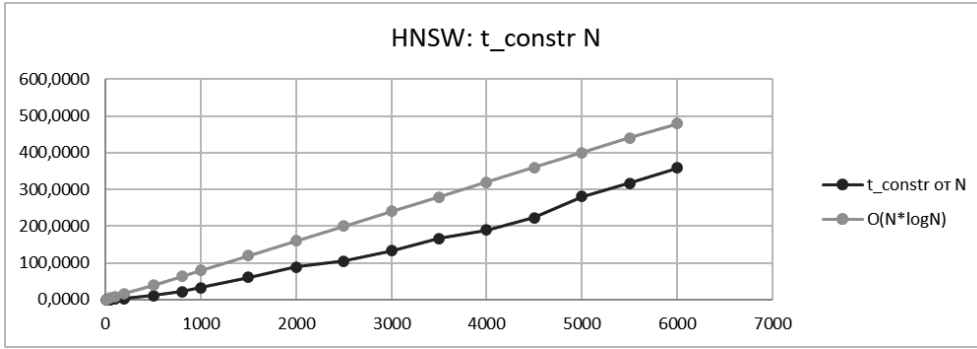


Рис. 5. t_{constr} от N для HNSW

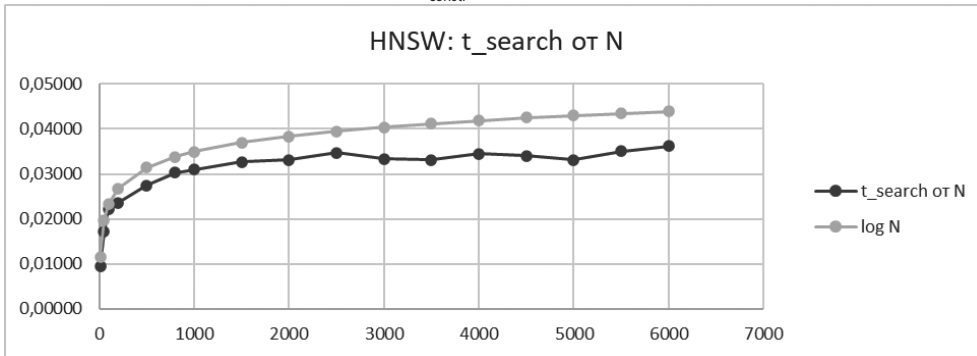


Рис. 6. t_{search} от N для HNSW

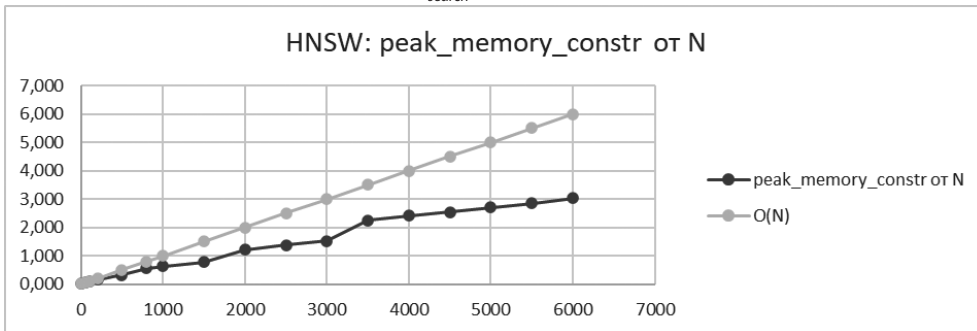


Рис. 7. $peak_memory_{constr}$ от N для HNSW

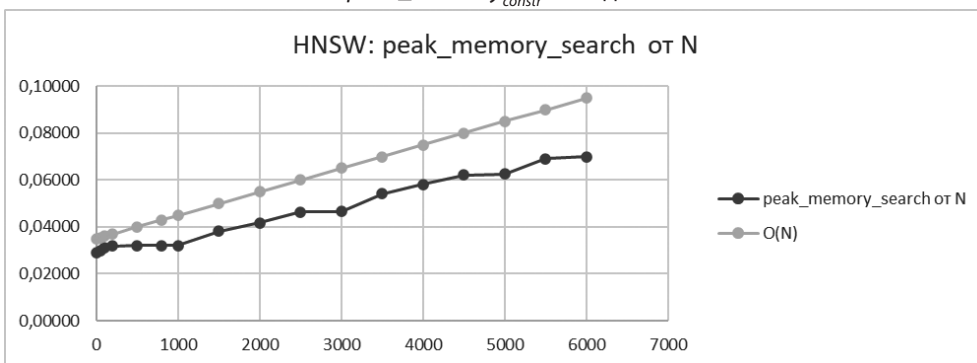


Рис. 8. $peak_memory_{search}$ от N для HNSW

На рис. 9 представлена зависимость t_{constr} от N для NSG. Можно видеть, что функция $t_{constr}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $N \cdot \log N \cdot Const$, в данном случае $Const = 0,08$. Теоретическая временная сложность построения NSG подтверждена.

На рис. 10 представлена зависимость t_{search} от N для NSG. Можно видеть, что функция $t_{search}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $\log N \cdot Const$, в данном случае $Const = 0,0015$. Теоретическая временная сложность поиска в NSG подтверждена.

Таблица 3.

Результаты тестов NSG

| N | t_{constr} с | t_{search} с | $peak_memory_{constr}$ Мб | $peak_memory_{search}$ Мб |
|------|----------------|----------------|----------------------------|----------------------------|
| 10 | 0,0342 | 0,00100 | 0,0409 | 0,02904 |
| 50 | 0,2784 | 0,00171 | 0,068656 | 0,02994 |
| 100 | 0,5658 | 0,00312 | 0,141962 | 0,03113 |
| 200 | 1,2963 | 0,00340 | 0,254479 | 0,03191 |
| 500 | 5,3650 | 0,00478 | 0,529235 | 0,03210 |
| 800 | 6,9280 | 0,00545 | 0,951509 | 0,03210 |
| 1000 | 10,6170 | 0,00619 | 1,051904 | 0,03206 |
| 1500 | 18,0330 | 0,00696 | 1,858819 | 0,03812 |
| 2000 | 30,3730 | 0,00768 | 2,076249 | 0,04182 |
| 2500 | 27,8749 | 0,00770 | 3,602522 | 0,04643 |
| 3000 | 44,4270 | 0,00872 | 3,855196 | 0,04661 |
| 3500 | 52,1270 | 0,00931 | 4,0725 | 0,05419 |
| 4000 | 69,4840 | 0,01001 | 4,29952 | 0,05813 |
| 4500 | 76,4710 | 0,01050 | 4,620226 | 0,06222 |
| 5000 | 85,5640 | 0,01170 | 7,340464 | 0,06252 |
| 5500 | 86,4210 | 0,01150 | 7,546114 | 0,06910 |
| 6000 | 124,9070 | 0,01090 | 7,838858 | 0,06997 |

На рис. 11 представлена зависимость $peak_memory_{constr}$ от N для NSG. Можно видеть, что функция $peak_memory_{constr}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $N*Const$, в данном случае $Const = 0,002$. Теоретиче-

ская емкостная сложность построения NSG подтверждена.

На рис. 12 представлена зависимость $peak_memory_{search}$ от N для NSG. Можно видеть, что функция $peak_memory_{search}(N)$ действительно растет не быстрее, чем $N*Const$, в данном случае $Const = 0,00001$. Теоретическая емкостная сложность поиска в NSG подтверждена.

Подтвердились теоретические предположения о том, что NSG будет выполнять поиск и построение быстрее, чем HNSW (рис. 13 — рис. 14).

Память, используемая при поиске, оказалась примерно равной у обоих методов (рис. 15).

Использование памяти во время построения для NSG оказалось выше, чем для HNSW (рис. 16).

Таким образом, можно сделать вывод, что NSG более предпочтителен для работы с большими объемами данных, так как он выполняет стадии построения и поиска намного быстрее, чем HNSW. Однако, стоит учитывать большее использование памяти на этапе построения NSG и удостовериться, что ЭВМ обладает достаточными объемами оперативной памяти.

Заключение

Методы поиска ближайшего соседа, основанные на графах, имеют большое преимущество в сравнении с другими методами KNNS в отношении времени поиска ближайших соседей по графу. При правильно построен-

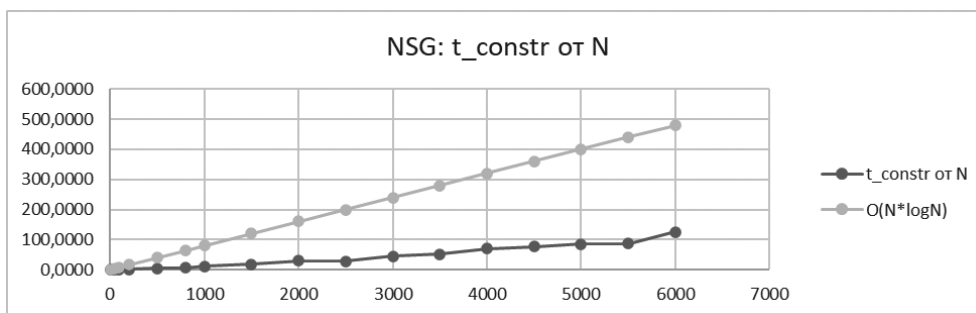


Рис. 9. t_{constr} от N для NSG

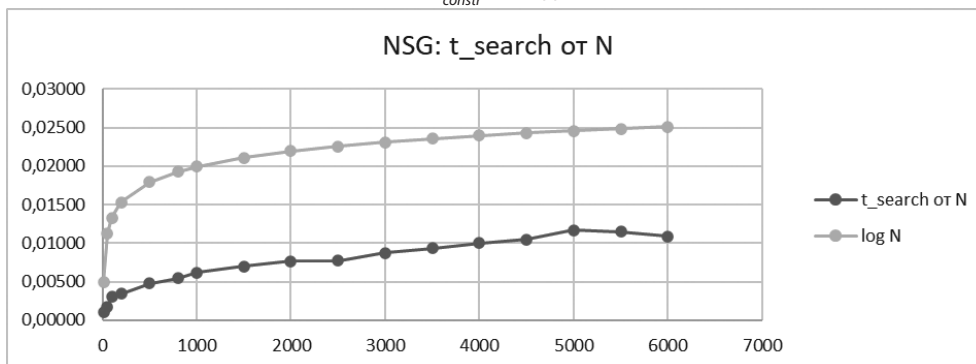


Рис. 10. t_{search} от N для NSG

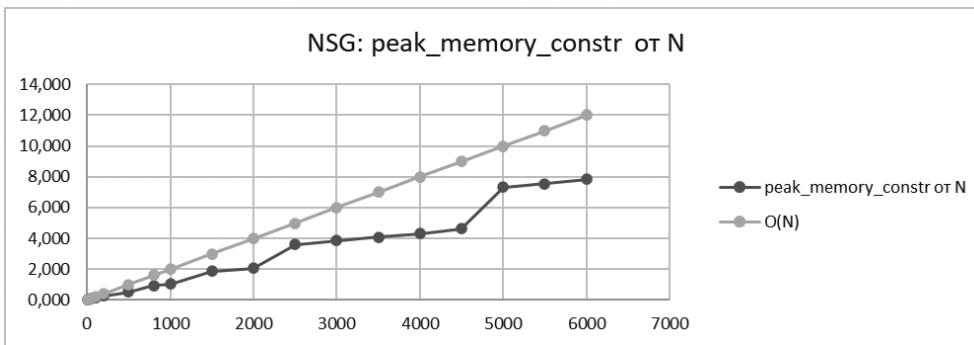


Рис. 11. $peak_memory_{constr}$ от N для NSG

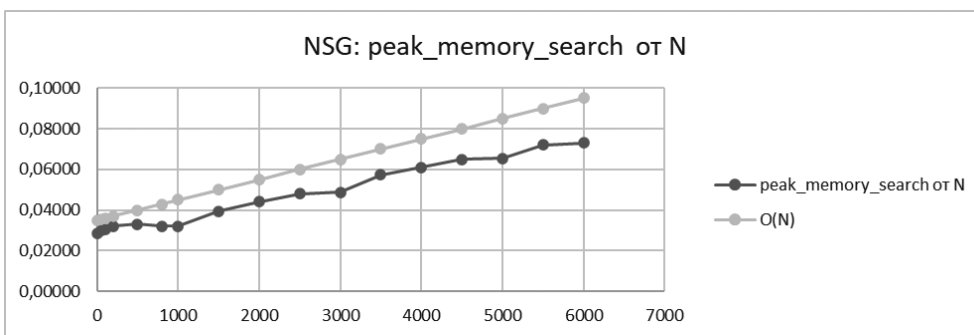


Рис. 12. $peak_memory_{search}$ от N для NSG

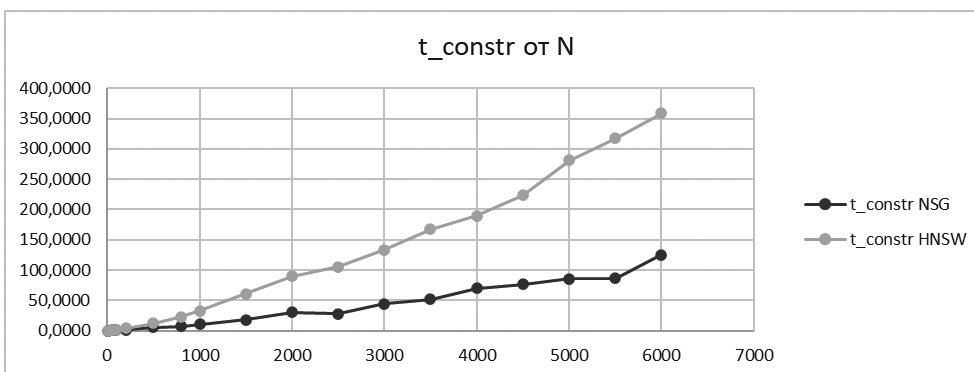


Рис. 13. t_{constr} от N для NSG и HNSW

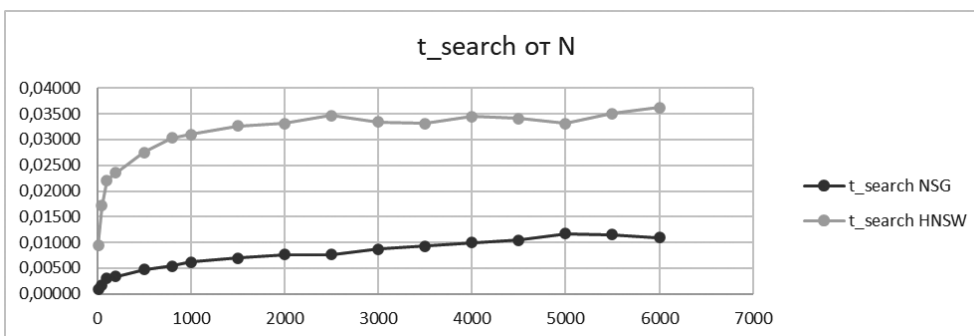
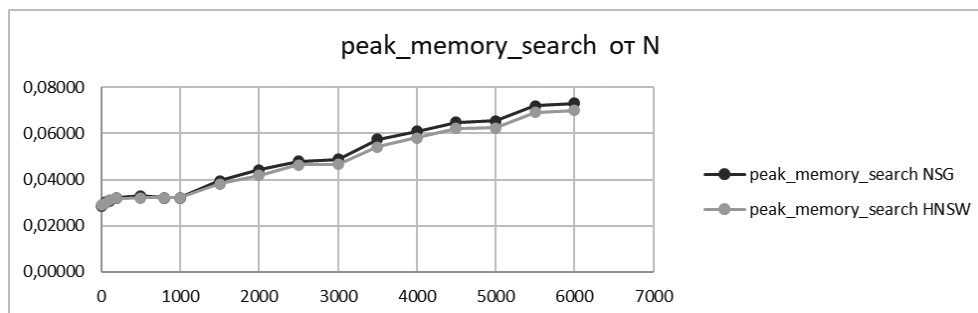
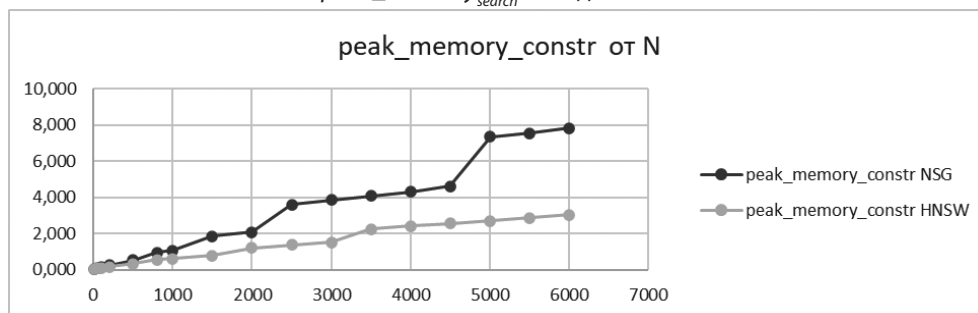


Рис. 14. t_{search} от N для NSG и HNSW

Рис. 15. $peak_memory_{search}$ от N для NSG и HNSWРис. 16. $peak_memory_{constr}$ от N для NSG и HNSW

ной структуре гарантируется высокая точность такого поиска, хоть и во многих подобных методах стадия построения графа является очень затратной по времени.

В ходе выполнения работы были реализованы два метода ANNS, основанных на графах — HNSW и NSG. HNSW использует иерархическую структуру, состоящую из уровней (слоев), которая обеспечивает более эффективный поиск благодаря разделению связей по масштабу. NSG основан на аппроксимации графа MRNG, использующей поиск из навигационной вершины для коррекции всех связей в графе с помощью стратегии выбора ребер MRNG.

Было проведено теоретическое сравнение данных методов, которое показало, что оба алгоритма имеют временную сложность построения графа $O(N \cdot \log N)$, вре-

менную сложность поиска в графе $O(\log N)$ и емкостные сложности построения и поиска $O(N)$. Был сделан предварительный вывод о том, что несмотря на одинаковую скорость роста времени выполнения от количества входных данных, NSG окажется быстрее HNSW, так как использует меньшее количество операторов. В то же время было отмечено, что NSG на стадии построения использует больше структур данных размером N , чем HNSW, что позволило предположить, что NSG будет использовать больше памяти при построении графа. Теоретические выводы были подтверждены тестами реализованных методов на синтетических данных.

Подытоживая результаты работы, можно сделать вывод, что NSG является более предпочтительным вариантом в случае больших объемов данных, но использует больше памяти для стадии построения графа.

ЛИТЕРАТУРА

1. K. Hajebi, Y. Abbasi-Yadkori, H. Shahbazi, and H. Zhang. Fast approximate nearest-neighbor search with k-nearest neighbor graph. Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence, 22:1312–1317, 2011
2. Z. Jin, D. Zhang, Y. Hu, S. Lin, D. Cai, and X. He. Fast and accurate hashing via iterative nearest neighbor expansion. IEEE transactions on cybernetics, 44(11):2167–2177, 2014.
3. C. Fu and D. Cai. Efanna: An extremely fast approximate nearest neighbor search algorithm based on knn graph. arXiv:1609.07228, 2016.
4. H. Ben and D. Tom. FANNG: Fast approximate nearest neighbour graphs. In Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pages 5713–5722, 2016.
5. S. Arya and D.M. Mount. Approximate nearest neighbor queries in fixed dimensions. In Proceedings of the fourth annual ACM-SIAM Symposium on Discrete algorithms, pages 271–280, 1993.
6. Fu C. et al. Fast approximate nearest neighbor search with the navigating spreading-out graph //arXiv preprint arXiv:1707.00143. — 2017.
7. Malkov Y.A., Yashunin D.A. Efficient and robust approximate nearest neighbor search using hierarchical navigable small world graphs //IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. — 2018. — Т. 42. — №. 4. — С. 824–836.
8. Even, Shimon (2011), Graph Algorithms (2nd ed.), Cambridge University Press, pp. 46–48.
9. Antoine Boutet, Davide Frey, Rachid Guerraoui, Anne-Marie Kermarrec, and Rhicheck Patra. Hyrec: leveraging browsers for scalable recommenders. In Middleware, 2014.
10. Olivier Ruas. The many faces of approximation in KNN graph computation. Machine Learning [cs.LG]. Université de rennes 1, 2018. English.
11. Y. Malkov, A. Ponomarenko, A. Logvinov, and V. Krylov, «Approximate nearest neighbor algorithm based on navigable small world graphs,» Information Systems, vol. 45, pp. 61–68, 2014.

© Горячкин Борис Сергеевич (bsgor@mail.ru); Павловская Анастасия Андреевна (paa4851@gmail.com);

Григорьев Юрий Александрович (grigorev@bmsu.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ЗАРЯДА АККУМУЛЯТОРОВ АВТОНОМНОГО ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА

MONITORING THE CHARGE LEVEL OF BATTERIES OF AUTONOMOUS DIGITAL DEVICE

E. Grach

Summary. The article discusses a hardware-software scheme for controlling (monitoring) the charge of lithium batteries of autonomous devices. An electrical circuit diagram is presented and its features are discussed. We consider software processing of the received data to convert the initial data supplied to the microcontroller ADC into actual battery voltage and residual charge.

Keywords: lithium batteries, telemetry, robotics, electronic circuitry.

Грач Евгений Петрович

кандидат физико-математических наук, ФГБОУ ВО
«МИРЭА — Российский технологический университет»
vader701@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается аппаратно-программная схема для контроля (мониторинга) заряда литиевых аккумуляторов автономных устройств. Приведена электрическая принципиальная схема, рассмотрены ее особенности. Рассматривается программная обработка полученных данных для пересчета исходных данных, поступающих на АЦП микроконтроллера, в реальное напряжение на аккумуляторах и остаточный заряд.

Ключевые слова: литиевые аккумуляторы, телеметрия, робототехника, схемотехника электронных средств.

Введение

Контроль уровня заряда мобильных цифровых автономных устройств актуально не только для своевременной подзарядки или замены бортовых источников питания, но и для увеличения срока службы перезаряжаемых источников питания, таких как литиевые аккумуляторы. Как известно [1], у таких аккумуляторов есть строго ограниченный диапазон рабочих напряжений, выход за которые, с одной стороны, сокращает жизненный цикл источника питания, с другой — приводит к химической деградации, снижению мощности и токоотдачи. Все именитые производители, поставляющие литий-полимерные и литий-ионные аккумуляторы хотя бы с минимальной технической документацией, например [2] напрямую запрещают перезаряд и переразряд аккумуляторов. И если вопрос перезаряда решается применением специальных зарядных устройств, например [3], то контроль нижнего допустимого порога напряжения является актуальной задачей, особенно в свете современных возможностей удаленного управления и/или контроля основных технических параметров робота [4]. На практике описанная система так же позволяет отслеживать полный выход аккумулятора из строя. Габариты некоторых устройств ограничены, и не всегда есть возможность поставить аккумулятор большей емкости, чтобы обеспечить технический запас по максимальной токоотдаче.

Схемотехнические аспекты метода решения

Рассматриваемое устройство питается от четырех литий-полимерных аккумуляторов под управлением

основного микроконтроллера ATmega2560 и дополнительного ESP8266 для передачи телеметрии, в том числе заряда батарей. Более подробно схема описана в [4].

На рисунке 1 представлена электрическая схема контроля заряда аккумуляторов.

Для снятия показаний напряжения используется встроенный в ATmega2560 10-битный АЦП. Первый канал читает показания первого аккумулятора (1S), второй канал считывает напряжение с первых двух аккумуляторов, поэтому чтобы не превысить максимальное входное напряжение АЦП ATmega2560, необходимо поставить делитель напряжения R10-R11. Делитель рассчитан таким образом, чтобы при максимальном заряде первых двух аккумуляторов (4.2 В + 4.2 В) не превысить максимальный верхний порог АЦП. Аналогично второму, подключается третий и четвертый аккумуляторы с соответствующими делителями напряжения. Таким образом, при чтении данных получатся некоторые значения в диапазоне от 0 до 5В, обработка которых будет происходить уже в микроконтроллере. Полевые транзисторы IRLML5103 (Q5-Q8) необходимы для исключения утечек тока через делители (2S-4S) и первый канал АЦП микроконтроллера. Если не отсечь первый канал АЦП, утечки приведут к сильному нагреву микроконтроллера в выключенном состоянии, вплоть до выхода из строя всего микроконтроллера или отдельного входа АЦП. Полевые транзисторы управляются биполярными (Q1-Q4), которые в свою очередь, подключены к цифровому выходу микроконтроллера, причем все четыре — к одному условному выходу Digital output1. Таким образом полевые транзисторы (Q5-Q8) открываются (а значит и данные

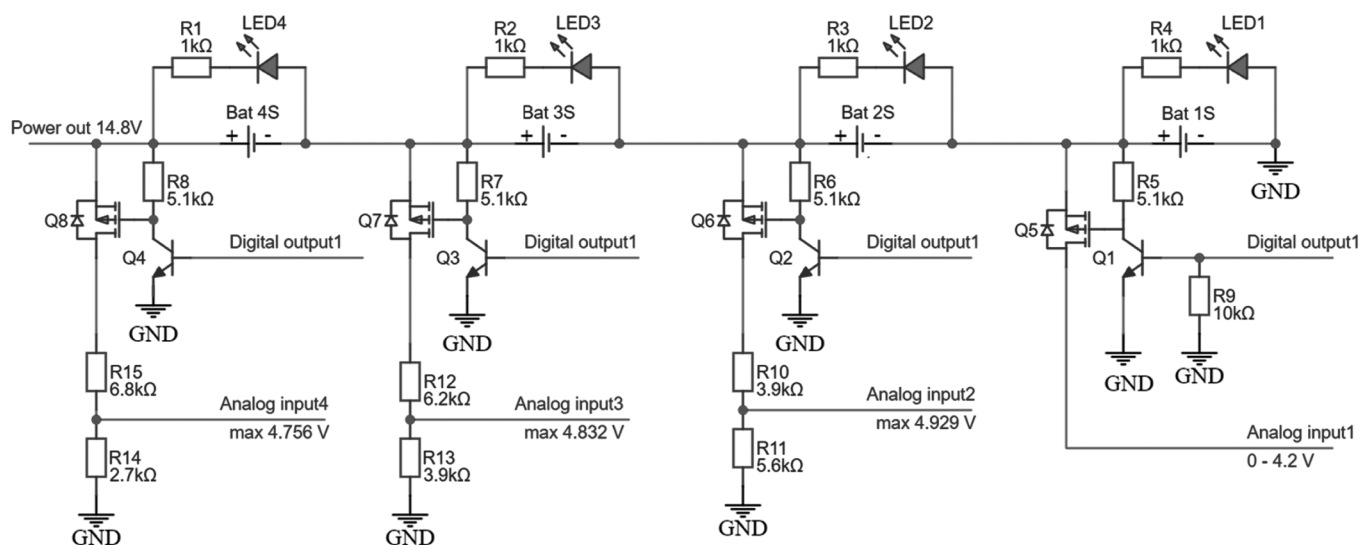


Рис. 1. Электрическая схема контроля заряда. Используются полевые транзисторы IRLML5103.

Все четыре биполярных транзистора подключаются к цифровому выходу микроконтроллера ATmega2560.

на вход АЦП поступают) только в момент перевода цифрового выхода Digital output1 в высокое логическое состояние. На практике, снимать показания с аккумуляторов не нужно чаще, чем раз в 5–10 секунд, поэтому для исключения все тех же утечек, транзисторы открываются по мере необходимости, считываются поступающие на АЦП показания и транзисторы снова закрываются до следующего опроса. Дальнейшая обработка показаний до близких к реальным напряжениям на аккумуляторах ведется программно. Для большей точности (если она необходима), имеет смысл использовать 1 % резисторы в делителях и посредством замера точного сопротивления использовать измеренные величины сопротивлений в дальнейшем.

Светодиоды LED1-LED4 совместно с токоограничивающими резисторами R1-R4 стоят в обратной полярности относительно аккумуляторов. Светодиоды загорятся в случае инвертирования полярности аккумулятора, либо, что на практике гораздо более полезно, в случае полного выхода аккумулятора из строя (когда аккумулятор «пробивает»).

Программные аспекты метода решения

В данном разделе описан программный метод перевода прочтенных АЦП микроконтроллера показаний в понятный и привычный вольтаж литий-полимерных аккумуляторов, а также предлагается метод оценки остаточного уровня заряда на всех аккумуляторах устройства.

Фрагмент исходного кода для чтения исходных данных приведен в листинге 1.

Листинг 1. Чтение исходных данных

```
digitalWrite(BATTERY_TEST_PIN, HIGH);
int batt_1s = analogRead(BATTERY_1S);
int batt_2s = analogRead(BATTERY_2S);
int batt_3s = analogRead(BATTERY_3S);
int batt_4s = analogRead(BATTERY_4S);
digitalWrite(BATTERY_TEST_PIN, LOW);
double R2_up = 3.91;
double R2_down = 5.62;
double R3_up = 6.21;
double R3_down = 3.93;
double R4_up = 6.8;
double R4_down = 2.71;
```

На этом этапе открываются полевые транзисторы, отделяющие аккумуляторные батареи от прямого воздействия на вход АЦП микроконтроллера и утечек тока через делители напряжения. После чтения значений, поступающих на вход четырех каналов АЦП, транзисторы, подключенные к выходу BATTERY_TEST_PIN закрываются. Так же, как было указано, для большей точности измерены доступными методами более точные значения сопротивлений на делителях напряжения и записаны в соответствующие переменные.

Показания с первого канала (BATTERY_1S) соответствуют напряжению первого аккумулятора (1S), которое можно интерпретировать сразу, переведя из единиц АЦП в вольты без дополнительной обработки. Остальные же каналы показывают не напряжение на соответствующем аккумуляторе, а сумму напряжений текущего и всех предыдущих, причем делителями приведенное к значению ниже 5 В. Обработка таких показаний приведена в листинге 2.

Листинг 2. Обработка полученных данных

```
double del_2S = R2_down/(R2_up+R2_down);
double del_3S = R3_down/(R3_up+R3_down);
double del_4S = R4_down/(R4_up+R4_down);
double Vin_1S = batt_1s * 4.97 / 1024;
double Vbat_2S = batt_2s * 4.97 / 1024;
double Vin_2S = Vbat_2S / del_2S;
double Vbat_3S = batt_3s * 4.97 / 1024;
double Vin_3S = Vbat_3S / del_3S;
double Vbat_4S = batt_4s * 4.97 / 1024;
double Vin_4S = Vbat_4S / del_4S;

V1 = Vin_1S;
V2 = Vin_2S-Vin_1S;
V3 = Vin_3S-Vin_2S;
V4 = Vin_4S-Vin_3S;
```

В первых трех строчках производится расчет коэффициентов делителей напряжения, которые потребуются в дальнейшем. Как и было сказано, первый канал АЦП можно сразу переводить из единиц АЦП (который имеет разрядность 10 бит, поэтому максимальное прочтенное значение — 1023) в напряжение. Поправочный коэффициент 4.97 В получен при калибровке с помощью внешних измерителей напряжения и используется на всех четырех каналах АЦП. По-видимому, он связан с неучтенными потерями, например за счет внутреннего сопротивления полевых транзисторов, либо с недостаточно прецизионном стабилизаторе напряжения, используемым для питания микроконтроллера ATmega2560. Полученное значение и будет напряжение на аккумуляторе 1S.

Расчет напряжения на остальных аккумуляторах производится в три действия. Первое — перевод из единиц

АЦП в напряжение на входе АЦП (от 0 до 5 В). Второе — учет коэффициента делителя напряжения. На этом этапе уже образуются суммы напряжений текущего аккумулятора и всех предыдущих (8.4 В, 12.6 В, 16.8 В). И третий этап — вычет напряжения предыдущих аккумуляторов (последние 4 строчки листинга).

В дальнейшем рассматривается перевод напряжения аккумулятора в процент остаточного заряда. Как известно [1,2], литиевые аккумуляторы имеют нелинейную разрядно-зарядную характеристику, причем эта характеристика не просто своя у каждого производителя, она может различаться у двух типов аккумуляторов одного производителя. Прежде чем эту зарядно-разрядную характеристику использовать, ее необходимо снять хотя бы в рамках одной ячейки многобаночного аккумулятора или одного аккумулятора конкретной модели. Для этого удобно использовать профессиональное зарядное устройство с подключением к компьютеру, такое как [3]. Пример снятой характеристика аккумулятора приведен на рисунке 2.

Полученную таблицу пар значений «напряжение-процент заряда» необходимо переместить в исходный код программы управления. Приведенный в листинге 3 пример исходного кода наиболее примитивный, но рабочий.

Результат

Из полученных данных остаточного заряда всех применяющихся на устройстве аккумуляторов выбирается минимальное значение, которое микроконтроллером пересылается на внешнюю индикацию автономного устройства (ЖК-дисплей), либо посредством беспровод-

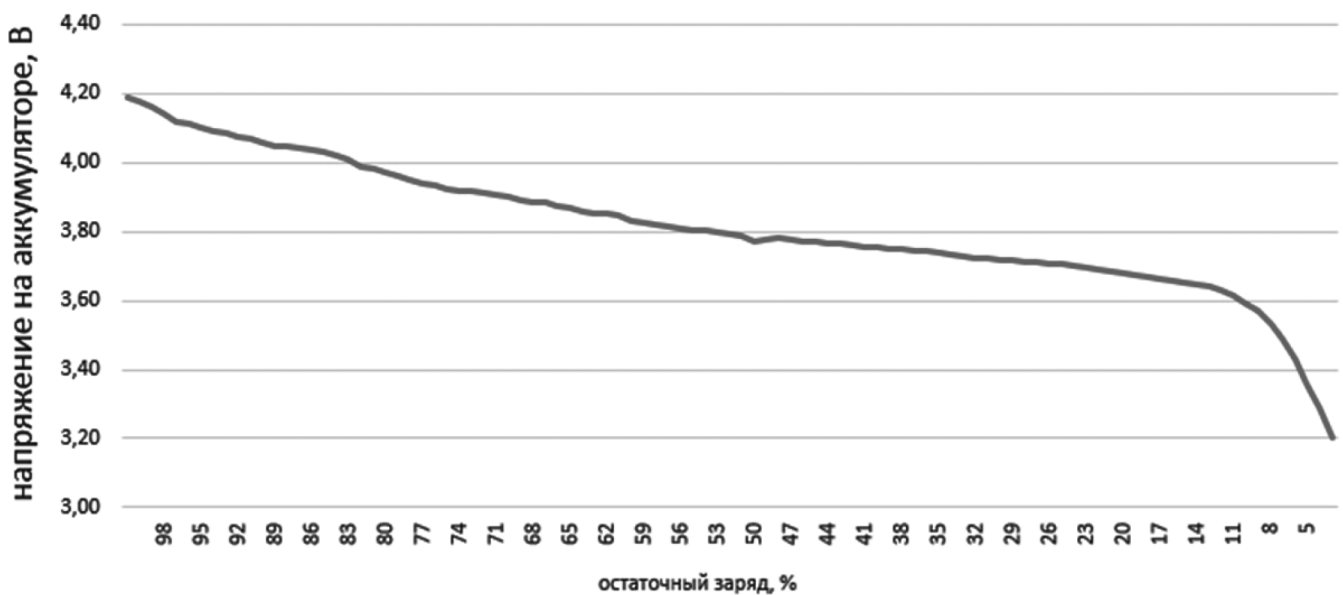


Рис. 2. Зарядная характеристика аккумулятора

Листинг 3. Фрагмент начала и конца функции перевода напряжения на аккумуляторе в процент остаточного заряда по таблице на рис. 2.

```
if(Vin >= 4.2) return 100;
else if(Vin >=4.19) return 99;
else if(Vin >=4.175) return 98;
else if(Vin >=4.16) return 97;
<...>
else if(Vin >=3.36) return 3;
else if(Vin >=3.29) return 2;
else if(Vin >=3.2) return 1;
else return 0;
```

ной связи на внешнее устройства контроля/управления. Подробнее об этом рассказано в [4].

Выводы

Приведенная аппаратно-программная схема не обладает повышенной прецизионностью для оценки точного процента заряда аккумулятора. Очень многое зависит от текущего состояния аккумулятора, его времени и условий эксплуатации, количества циклов заряда-разряда, качества используемых электронных компонентов. К сожалению, такова технология литиевых аккумуляторов. Однако предложенная схема очень проста и дешева схемотехнически и не требует больших вычислительных мощностей на стороне микроконтроллера.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion pouch cells» Cannarella, John, Arnold, Craig B. — Journal of Power Sources, Volume 245, p. 745–751, 2014
2. «Li-Polymer battery datasheet», MIKROELEKTRONIKA, <https://www.farnell.com/datasheets/2369105.pdf>, 2013
3. «iMAX B6 V2 Instruction Manual V1.0», SkyRC, https://www.skyrc.com/download/B6_V2_Instruction_Manual_EN_V1.0.pdf, 2019
4. Грач Е.П. Аппаратно-программные аспекты организации передачи телеметрии мобильных цифровых автономных устройств // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Естественные и технические науки. №4, 2023, с. 51–57

© Грач Евгений Петрович (vader701@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ В БИЗНЕСЕ

USING BIG LANGUAGE MODELS IN BUSINESS

M. Dostov

Summary. The presented scientific article examines the directions of using large language models in business. The topic is relevant, since artificial intelligence can significantly develop business activities, eliminate problems, improve customer experience, reduce costs, and so on. However, at the moment, only a few companies in Russia use artificial intelligence; even large language models that have the largest range of activities are rare in practice. The key reason is either a lack of understanding of the role of this technology for business, or the presence of fears. The scientific significance of the work lies precisely in solving these problems — proving the high role of large language models, as well as indicating measures to eliminate the most common risks. The practical significance lies both in the already indicated practical recommendations and in the practice-oriented author's test algorithm, which will allow companies to simply but effectively indicate in which direction the use of large language models may be beneficial for them, or whether it does not make sense for them.

Keywords: large language models, improving customer experience, automated analysis, content generation, digital practice.

Достов Максим Константинович

Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана
zoomumba2001@yandex.ru

Аннотация. В представленной научной статье изучаются направления использования больших языковых моделей в бизнесе. Тема актуальна, так как искусственный интеллект может существенно развить деятельность бизнеса, ликвидировать проблемы, усовершенствовать клиентский опыт, сократить издержки и так далее. Однако, на данный момент лишь некоторые компании в России используют искусственный интеллект, даже большие языковые модели, имеющие наибольший спектр деятельности, редки на практике. Ключевой причиной является, либо непонимание роли этой технологии для бизнеса, либо наличие опасений. Научная значимость работы заключается именно в решении данных проблем — доказательстве высокой роли больших языковых моделей, а также указании мероприятий по ликвидации наиболее распространенных рисков. Практическая значимость заключена, как в уже указанных практических рекомендациях, так и в практико-ориентированном авторском алгоритме-тесте, который позволят просто, но эффективно указать компаниям, в каком направлении им может быть выгодно применение больших языковых моделей, или это не имеет для них смысла.

Ключевые слова: большие языковые модели, улучшение клиентского опыта, автоматизированный анализ, генерация контента, практика цифровых технологий.

Искусственный интеллект с каждым годом развивается все более значительно. Так, например, если два года назад начал набирать популярность «ChatGPT» (за два месяца после получения лицами открытого доступа к нейросети, ей воспользовались более 100 миллионов человек, согласно «РБК» [4]), то сейчас генеративные модели с искусственным интеллектом способны создавать изображения по запросам, музыку, видеоряд, презентации и иные объекты. Перспективы такие технологии формируют колоссальные — согласно Блумберг [5], рынок генеративного искусственного интеллекта вырастет к 2032 году в 32 раза с отметки в 40 миллиардов долларов США до 1,3 триллиона долларов США. Согласно данным «McKinsey» [6], генеративный искусственный интеллект позволит увеличить мировую экономику минимум на 2,6 триллионов долларов США в год, максимум — на 4,4 триллионов долларов США в год, что сопоставимо с годовым ВВП Великобритании (3,1 триллиона долларов США за 2021 год). Несмотря на столь широкий спектр возможностей разных генеративных моделей, в рамках данной научной статьи будут рассмотрены лишь больше языковые модели (в иностранной литературе чаще применяется аббревиатура LLM). Причина заключается в большей их при-

менимости — они могут быть ежедневно полезны, как банку, так и торговой организации, страховой фирме, индустрии компьютерных игр, юридической организации и многим иным предприятиям, чего нельзя сказать в отношении, например, генеративных моделей изображений. При этом можно констатировать — большинство российских организаций, либо не видят выгоды от внедрения таких технологий, либо считают угрозы чрезмерными. Таким образом, актуальность работы высока — необходимо, во-первых, доказать наличие значительной пользы для бизнеса при использовании больших языковых моделей, во-вторых, предложить практический алгоритм, при применении которого наибольшие риски и угрозы будут нивелированы. Отметим, что именно создание практического алгоритма является целью данной научной работы.

Для достижения цели, в рамках работы были использованы следующие научные методы: описание, синтез, контент-анализ, обобщение, дедукция и индукция.

Первоначально необходимо объяснить, что подразумевается под большими языковыми моделями в данной научной статье — это нейросеть, которая самообучается

через предоставление ей крупных массивов тестовых данных любых видов, при первоначальной настройке пользователем через указание наиболее верного ответа на ряд вопросов. Отметим, что, если массивы информации специализируются, то большая языковая модель тоже будет специализированной, например, на анализе вероятности выигрыша судебного дела, на вежливой коммуникации с клиентом, на создание уникальных игровых диалогов, исходя из ситуации, и так далее.

Уже исходя из представленных возможностей, можно констатировать, что большие языковые модели действительно можно применять в совершенно разных сферах функционирования бизнеса. Далее будет представлен контент-анализ различных источников и авторской практики для доказывания факта того, что большие языковые модели должны быть крайне интересны для большинства фирм. Первым примером является коммуникация с клиентом, которая необходима торговым предприятиям, банкам, страховым организациям, негосударственным пенсионным фондам, инвестиционным фондам и многим иным компаниям. С помощью больших языковых моделей вся (или практически вся) коммуникация может проводиться автоматизировано [1]. Показательным является кейс компании «Ralf Ringer» — внедренная ими система способна: самостоятельно отвечать на многие вопросы потребителей (цена товара, его наличие и доступные модели/размеры); предоставлять комментарии к отзывам клиентов в отношении товаров, размещенных на маркетплейсах. Необходимо согласиться, что на данный момент большая языковая модель компании смогла заменить лишь деятельность младшего работника службы клиентской поддержки, однако, это уже позволяет сократить штат, а значит, и издержки. Более того, уже сейчас клиентский сервис улучшился, так как отзыв на комментарий формируется практически мгновенно, равно как и ответ на вопрос, что было невозможно при работе человека. В дальнейшем можно предположить, что нейросеть дообучат так, чтобы ее возможности расширились, например, предоставлялся ответ на более сложные вопросы, например, на какой сезон обувь наиболее подходит, является ли у данной модели подошва скользкой и так далее. Как итог, клиентский сервис дополнительно улучшится, что увеличит количество постоянных и лояльных клиентов.

Близким является кейс компании Volkswagen — уже сейчас большая языковая модель вида «GPT» становится основой для голосового помощника. Это позволяет улучшить процесс вождения, так как, если водителю необходимо, он узнает: ситуацию на дороге в рамках пути его следования, получает предложения о перестроении маршрута; получает погодную сводку; имеет информацию о достижении точки назначения, исходя из средней скорости именно его движения. Таким образом, клиент-

ский опыт улучшается, равно как лояльность клиентов, число потенциальных и постоянных потребителей.

Иная важная задача, которую может реализовать большая языковая модель — редактирование текста или его компиляция. Примером может стать кейс сервиса «Битрикс24» — после осуществления разговора с клиентом, искусственный интеллект анализирует содержание диалога для того, чтобы максимально возможно заполнить карточку со сведениями о нем.

Для некоторых фирм наиболее важным будет выделение основного из крупного текста. Предположим, «Яндекс.Маркет» применяет это для того, чтобы продавец, пользующиеся сервисом, могли в открытом поле разместить неструктурированную информацию о товаре, далее система самостоятельно структурирует эти сведения, что позволяет сделать наиболее полную карточку товара с выделенными аспектами. Иным примером может быть изучение искусственным интеллектом решения суда, которое может составлять более десяти страниц текста — большая языковая модель сможет выделить основное — ФИО всех участников, решение, применяемые статьи кодексов и так далее.

Зачастую большие языковые модели применяются для иных целей — корпоративных. Так, первое направление здесь — проведение автоматизированного мониторинга, например, для усовершенствования риск-менеджмента. Примером может быть организация «ДОМ.РФ», в рамках которой проводится автоматизированный мониторинг ситуации на инвестиционно-строительном рынке — если искусственный интеллект фиксирует наличие негативной тональности сообщений, например, новостных источников, он отправляет ключевые сведения сотрудникам, что позволяет оперативно реагировать на неблагоприятные ситуации.

Другое направление — интеллектуальный поиск. Проблема является крайне важной, если фирма функционирует в достаточно разных профилях, имеет множество задач, существенная часть из которых сложны для выполнения новичками или неспециализированными сотрудниками. Примером может быть любая аудиторская организация из «Большой четверки» — аудит разделен по разным направлениям, так как он специфичен: аудит банков, промышленных предприятий, фирм телекоммуникационной сферы и так далее. В результате, если сотрудник переводится из одного отдела в другой, он может не иметь достаточно знаний, потому специфика компаний будет ему непонятна, равно как и особенность проведения аудиторских процедур. Если же организация имеет интеллектуальный корпоративный поиск на базе больших языковых моделей, то работнику достаточно ввести в ней запрос, далее система самостоятельно предоставит ответ в отношении специфики

проведения каждой аудиторской процедуры. В итоге, эффективность функционирования работников будет увеличена.

Иной, но близкий пример — создание такой базы для дальнейшего применения, как интеллектуального поиска. Практический кейс здесь представляет организация «Goldman Sachs», уже имеющая собственный генеративный искусственный интеллект — «ChatGS». Он позволяет фирме автоматизировано собирать всю информацию от сотрудников, особенно акцентируя внимание на ключевых фигурах. Сбор проходит по всем возможным корпоративным каналам, что позволяет зафиксировать каждую идею. Как итог, даже после ухода работника, его идеи продолжают развивать организацию. Далее такая постоянно пополняемая база ценных сведений станет интеллектуальным поиском. Возвращаясь к предыдущему примеру, указываем, что в этом случае работник не просто получит ответ относительно специфики аудита, например, банка, но и ряд ценных советов в отношении того, как именно провести его наиболее эффективно, какие ошибки наиболее распространены, какие действия являются самыми результативными и так далее.

Специфическим направлением является применение больших языковых моделей для создания уникальных диалогов и нестандартных ситуаций. Это может быть выгодно в первую очередь создателем компьютерных игр, однако, на них нельзя ограничивать это направление. Предположим, для образования оно тоже интересно, так как, например, при обучении иностранному языку, большая языковая модель сможет постоянно моделировать новую ситуацию для обучающегося, что будет в большей степени развивать его практические языковые навыки. Дополнительно это выгодно разработчикам различных приложений, в рамках которых пользователю необходимо, например, продолжать историю за программой — она ее начинает, а потребитель продолжает, и так по очереди. Как итог, создается более уникальный, эффективный, интересный для пользователя продукт, что увеличивает продажи, лояльность и так далее.

Близким направлением является генерирование уникального контента. Это могут быть: новостные сводки организации; различные уведомления об акциях и конкурсах; развлекательная деятельность для потребителей (интересные факты в группе в социальных сетях) и так далее. Направление позволяет, как экономить денежные средства на штате, так и увеличивать эффективность применяемого контента.

Прогнозирование тоже является одним из возможных направлений применения больших языковых моделей. Так, например, искусственный интеллект может провести анализ судебных решений и сравнить информацию с конкретным делом для того, чтобы сформировать

прогноз по нему и аргументировать его. Иной пример — кейс фирмы «JPMorgan» — их модель акцентирует внимание исключительно на всей информации, исходящей от представителей Федерального резерва, что важно для формирования прогноза относительно изменений в монетарной политике США.

Нельзя не отметить, что, если организация уже применяет какие-либо цифровые технологии в своей деятельности, то спектр возможностей больших языковых моделей расширяется. Предположим, для торговых организаций и некоторых иных фирм, применяющих рекомендательные системы, большие языковые модели интересны в направлении совершенствования рекомендаций. Так, например, рекомендательная система функционирует верно и эффективно, но ее можно дополнить рядом продающих слов и аргументацией предоставленных предложений, которые будут созданы, исходя из прошлых заказов и поиска товаров на сайте. В результате, вероятность продажи товаров с помощью рекомендательных систем увеличивается.

Другое направление — совершенствование выполнения задач, основанных на строгой логике. Предположим, частная клиника имеет программного робота, который позволяет записываться к врачу, применяя строгую логику — есть свободное место — запись возможна, и наоборот. При этом существует проблема — человек желает записаться на конкретное время, но мест нет. Робот никоим образом помочь не сможет, вследствие ограниченности программы. Большая языковая модель может попытаться помочь человеку, например, сразу предлагая запись на иное, близкое или схожее время, но в другой день. Это позволит существенно улучшить клиентский сервис.

Крайне важным становится направление, при котором большая языковая модель становится помощником человека. Примером здесь может стать уже достаточно распространенное применение искусственного интеллекта для анализа корпоративной информации и вынесения решений — большинство руководителей не может полностью автоматизировать эту задачу, так как, в случае ошибки, результат будет слишком неблагоприятным. При этом модель может предоставить свое мнение, которое позволит ускорить и улучшить анализ, проводимый человеком.

Констатируем, что направления многообразны, о некоторых из них представители бизнеса не могут даже догадываться. По этим причинам необходимо предложить сформировать авторский алгоритм, с помощью которого организация может осознать, для чего именно ей необходимо использовать большие языковые модели и куда их внедрить. Авторский алгоритм можно представить, в виде теста, который позволит предоставить ответ

на данный вопросы. Представим авторский алгоритм-тест в таблице 1.

Сами вопросы отобразим здесь: 1) необходимо ли вашей организации создавать контент хотя бы для социальных сетей; 2) применяются ли в вашей организации рекомендательные системы; 3) часто ли происходит многочисленное контактирование с потенциальными клиентами; 4) важна ли для вашей фирмы внешняя ситуация на рынке; 5) важен ли клиентский опыт для вашей организации; 6) является ли деятельность фирмы специфической сразу по многим направлениям; 7) есть ли информация, которую вы желали бы сохранить на протяжении всего времени деятельности фирмы; 8) были ли случаи, когда недостаточный анализ, планирование или прогнозирование наносили существенный ущерб вашей организации; 9) часты ли конфликты с клиентами; 10) является ли качество товаров/услуг ключевым для вашей организации; 11) есть ли сведения от внешних источников, которые вы хотели бы постоянно мониторить и сохранять.

Применяя данный тест-алгоритм, руководителю организации необходимо отвечать на каждый вопрос, либо «да», либо «нет». После этого нужно изучить количество «+», согласно каждому ответу «да», что отобразит наиболее важные направления применения больших языковых моделей на предприятии. Если количество «+» больше или равно 3, то крайне рекомендуется внедрять по этому направлению большую языковую модель, если 2 — то предлагается задуматься над этим аспектом.

Как уже было сказано, во многих организациях бояться внедрять большие языковые модели по ряду причин, среди которых особенно выделим:

1. Неопределенность работы модели, которая может предоставить неожиданный результат, в отличие от традиционных детерминированных алгоритмов [2]. Решением проблемы является, либо использование лишь больших языковых моделей с доказанной эффективностью, либо самостоятельная разработка такой при участии высококвалифицированных специалистов. Дополнительно предлагается всегда иметь в штате сотрудника, со специальными знаниями в этой сфере для возможности регулировки и настройки системы;
2. Невозможность изучить крупный документ и/или невозможность сохранить весь диалог в памяти. Решение — применение дополнительных инструментов, которые позволят ликвидировать конкретное ограничение;
3. Угроза конфиденциальности по причине использования технологии «облака» [3]. Минимизировать риски можно через использование услуг «облака» лишь у проверенных провайдеров с высоким уровнем защиты. Дополнительно можно рекомендовать максимизировать уровень собственной кибербезопасности через применение различных охранных систем и обучения сотрудников;
4. Невозможность четко поставить задачу большой языковой модели и дообучить ее, что ведет к неверным ответам или получению не той инфор-

Таблица 1.

Авторский алгоритм-тест для выявления необходимости компании применять большие языковые модели и конкретные направления

| Номер вопроса | Большая языковая модель для | | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------------|--------------------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| | Контактирования с клиентами | Компиляции, редактирования текста | Генерации текста, диалогов | Выделения основного | Автоматизированного мониторинга | Интеллектуального поиска | Создания базы данных | Анализа, прогнозирования | Ассистирования | Развития рекомендательных систем | Развития программ со строгой логикой |
| 1 | | + | + | + | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | + | |
| 3 | + | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | + | + | | | + | + | | |
| 5 | + | | + | | | | | | | + | + |
| 6 | | + | + | + | | + | + | + | + | | |
| 7 | | + | | + | | + | + | | + | | |
| 8 | | + | | | + | | | + | + | | + |
| 9 | + | | | | + | | | | | + | + |
| 10 | + | | + | | | + | + | + | | + | + |
| 11 | | | | | + | + | + | | | | |

мации. Решение — наем работника (например, AI-тренера), который позволит скорректировать работу программы, исходя из нужных ограничений и требований, а также составить ряд точных запросов для обучения такому навыку всех работников;

5. Завышенные требования. Руководители считают, что внедрение больших языковых моделей позволит полностью решить проблемы в некоторых сферах, что неверно. Решением является широко распространение информации, например, данного научного труда, о возможностях и мифах в отношении этой технологии.

Подводя итог, констатируем, что большие языковые модели являются крайне необходимыми для бизнеса. Однако, страхи и непонимание формируют препятствия для их распространения на практике. В рамках работы автором был разработан алгоритм-тест, позволяющий доказать необходимость внедрения такой технологии, а также указать конкретное рекомендуемое направление. Ключевые риски тоже были изучены и предложены меры по их нивелированию. Таким образом, применяя все рекомендации данной научной статьи на практике, можно увеличить грамотное использование больших языковых моделей в России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гончаров, Д.С. Большие языковые модели на примере чат-ботов GPT-3: сегодняшние реалии, проблемы истины, преимущества и опасности / Д.С. Гончаров, С.В. Григорьев // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, Москва, 15 марта 2023 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство АЛЕФ», 2023. — С. 283–290.
2. Качалов, Р.М. Феномен риска в условиях применения алгоритмов искусственного интеллекта / Р.М. Качалов, Ю.А. Слепцова // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. — 2023. — Т. 25, № 4. — С. 5–16. — DOI 10.15688/ek.jvolsu.2023.4.1.
3. Намиот, Д.Е. О работе AI Red Team / Д.Е. Намиот, Е.В. Зубарева // International Journal of Open Information Technologies. — 2023. — Т. 11, № 10. — С. 130–139.
4. Тихая революция: как большие языковые модели изменят бизнес // РБК URL: <https://trends.rbc.ru/trends/innovation/cmrm/65113f2e9a79473de4a72e13> (дата обращения: 15.04.2024).
5. ChatGPT to Fuel \$1.3 Trillion AI Market by 2032, New Report Says // Блумберг URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-06-01/chatgpt-to-fuel-1-3-trillion-ai-market-by-2032-bi-report-says> (дата обращения: 15.04.2024).
6. McKinsey report finds generative AI could add up to \$4.4 trillion a year to the global economy // VentureBeat URL: <https://venturebeat.com/ai/mckinsey-report-finds-generative-ai-could-add-up-to-4-4-trillion-a-year-to-the-global-economy/> (дата обращения: 15.04.2024).

© Достов Максим Константинович (zoomumba2001@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПИСАТЕЛЬНОЙ И АНАЛИТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ В СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

FEATURES OF THE USE OF DESCRIPTIVE AND ANALYTICAL STATISTICS IN SOCIOLOGICAL RESEARCH

V. Zamyatin
E. Molchanova

Summary. The purpose of the article is to identify the features of the analysis of sociological distributions of indices, linearly expressed based on data from large random samples. The relationship between the general drug addiction risk indicator and the normal type of distribution is considered. A data matrix for 75 indicators was obtained by testing 2109 ISTU students using the ASSOL IS. It is shown that, contrary to the opinion of Russian authoritative scientists, methods of descriptive and analytical statistics based on the normal distribution law can be applied to indices calculated from groups of factors consisting of ordinal and binary indicators. Using the 3σ criterion, respondents with an increased risk of drug addiction were identified. Estimates of pair correlation according to Pearson, according to Spearman and using the phi coefficient (for binary scales) were compared. If there are related ranks in the data sample, the calculation of the Spearman coefficient should be carried out taking into account corrections. All three types of correlation coefficients gave similar results. It has been established that when analyzing large samples there are no clear criteria for assessing the strength of the connection. It has been shown that identifying strong pairwise correlations between indicators makes it possible to reduce the size of the questionnaire without loss of reliability.

Keywords: sociology, Pearson correlation coefficient, Spearman correlation coefficient, phi correlation coefficient, analytical statistics, descriptive statistics, standard normal distribution, random quantity, indicator, index, scale.

Замятин Владимир Михайлович

Аспирант, Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский Государственный Университет Путей Сообщения»
zamvov01@yandex.ru

Молчанова Елена Ивановна

Профессор, доктор технических наук, Федеральное Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский Государственный Университет Путей Сообщения»
moleli59@gmail.com

Аннотация. Цель статьи — выявить особенности анализа социологических распределений индексов, линейно выраженных по данным больших случайных выборок. Рассмотрено соотношение показателя общего риска наркотизации с нормальным типом распределения. Матрица данных по 75 индикаторам получена при тестировании 2109 студентов ИРГУПС с помощью ИС «АССОЛЬ». Показано, что вопреки мнению российских авторитетных ученых, методы описательной и аналитической статистики, основанные на нормальном законе распределения, можно применять к индексам, рассчитанным по группам факторов, состоящих из порядковых и бинарных индикаторов. С помощью 3σ -критерия выявлены респонденты с повышенным риском наркотизации. Сопоставлены оценки парной корреляции по Пирсону, по Спирмену и с помощью фи-коэффициента (для бинарных шкал). При наличии связанных рангов в выборке данных расчет коэффициента Спирмена следует выполнять с учетом поправок. Все три типа коэффициентов корреляции дали сходный результат. Установлено, что при анализе больших выборок нет четких критериев для оценки силы связи. Показано, что выявление сильных парных корреляций между индикаторами позволяет уменьшить размер анкеты без потери надежности.

Ключевые слова: социология, коэффициент корреляции Пирсона, коэффициент корреляции Спирмена, фи-коэффициент корреляции, аналитическая статистика, описательная статистика, нормальный закон распределения, случайная величина, индикатор, индекс, шкала.

Часто при обработке данных социологических и психологических исследований расчет коэффициентов корреляции выполняется и обсуждается без учета типа измерительных шкал и форм распределения факторов, например, [1], а коэффициент — альфа Кронбаха оценивают без указания типа показателя корреляции [2, С. 651–657]. Тогда как от результатов применения описательной статистики, полученных на первом этапе статистического анализа данных, должен зависеть дальнейший подход к исследованию статистических гипотез.

Автор работы [3, С.36–37] считает, что идея соотношения социологических распределений (шкал, выборок, коэффициентов корреляции) с нормальным распределением часто используется, но не обоснована в социологии. Приведем несколько цитат из этой статьи: «В частности, не всегда уточняется распределение, по каким шкалам может подчиняться закону Гаусса. Распределения по атрибутивным шкалам не могут рассматриваться на предмет соответствия нормальному распределению, так как это независимые шкалы и у них не может быть среднего значения и, соответственно, отклонений». «Порядковые шкалы также не имеют корректного среднего

значения, поэтому также не могут соотноситься с нормальным распределением». Вместе с тем, атрибутивные шкалы при обработке, как правило, сводятся к дихотомическим. А дихотомические шкалы, по мнению того же автора «зачастую являются свернутыми порядковыми, сводимыми к абсолютным». Но Ильясов Ф.Н. утверждает, что и «среди распределений по абсолютным шкалам не наблюдается типов распределений, соответствующих нормальному». Он цитирует Крыштановского А.О. [4, С.110], Орлова А.И. [5, С.64–66][6] и делает вывод, что «идея нормального распределения в социологии не обоснована. Ряд методов измерения и анализа данных в социологии зиждется на гипотезе нормального распределения. Поскольку сама гипотеза нормальности не находит обоснования и подтверждения, то и методы, на ней основанные, могут быть недостаточно достоверными».

Вместе с тем, авторы статьи [7, С.148] не соглашались с этим выводом «Статистика — не в природе вещей, а в методе исследователя (хорошо или плохо описывает построенную исследователем систему)». На взгляд авторов, «позиция вышеназванных российских ученых свидетельствует лишь о малом количестве построенных исследователями моделей социальных систем, где нормальное распределение успешно использовалось». Они исследовали вопрос: почему нормальное распределение является повсеместно встречающимся. Приводят ссылки на источники, доказывающие этот тезис математически и источники, рассматривающие его с позиции философии статистики. На основании последних источников приводится заключение, что «закон нормального распределения наилучшим образом моделирует общий способ устройства социальных и физических процессов» [7, С.147].

Автором статьи [8, С.4-16] теоретически доказано, что индексы, которые линейно выражаются по данным из случайных выборок через частоты ответов респондентов, должны иметь приблизительно нормальный закон распределения. Тогда к ним можно применять методы математической статистики. «Мнение о том, что временной ряд некорректно соотносить с гауссовым распределением [3, С. 37], несомненно верно в случае, когда соответствующий индекс X не является квазистационарным. Однако очевидно, что на коротком промежутке времени $[t_1; t_n]$, когда индекс X является квазистационарным, числа $x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_n)$ можно считать выборкой значений случайной величины. Последняя может быть (или не быть) нормальной».

Целью наших исследований являлось изучить особенности применения описательной и аналитической статистики на примере результатов тестирования студентов ИРГУПС в количестве $N=2109$ человек с помощью ИС социологического и психологического тестирования

«АССОЛЬ» [9] по анкете «Исходная оценка наркотизации» ($Q=75$ вопросов), модифицированной и адаптированной Центром развития человеческого капитала ИРГУПС, с целью выявления социально-психологических факторов риска и защиты от немедицинского употребления наркотиков.

Оценка применимости методов описательной статистики

Одним из важнейших этапов описательной статистики является построение гистограмм, результаты которого дают представление о наблюдаемой функции плотности распределения вероятностей [10].

Рассмотрим генеральную совокупность полученных значений показателя общего риска наркотизации, распределение которой неизвестно. Проверим гипотезу о том, что генеральная совокупность распределена по нормальному закону. Выборочные данные группируются в дискретный вариационный ряд (см. рисунок 1) с вариантами x_i и соответствующими частотами n_j . Здесь же представлен ряд теоретических частот nt_j , рассчитанных по формуле: $n_{tj} = \Delta \cdot m \cdot f(x_i)$, где

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - \bar{x}_e}{\sigma}\right)^2} \text{ — функция Гауса, } m \text{ — число}$$

интервалов, Δ — ширина интервалов. Ширина каждого интервала равна 1.

Сначала оценили принадлежность вариационного ряда показателя общего уровня риска наркотизации к нормальному закону с помощью мер центральной тенденции и вариации. Автор [11] перечисляет 3 аналитических критерия для нормального распределения:

1) У нормального распределения оценка математического ожидания по выборочной средней \bar{x}_e совпадает с модой M_0 и медианой me . В нашем случае рассчитанные выборочные показатели весьма близки друг к другу: $\bar{x}_e = 143$, $me = 141$, $M_0 = 131$.

2) Практически все значения нормальной случайной величины должны находиться в интервале $a - 3\sigma$, $a + 3\sigma$. Найдём этот интервал для нашей выборки. Математическое ожидание «а» оценивается выборочной средней $\bar{x}_e = 143$, а стандартное отклонение «сигма» — выборочным стандартным отклонением $\sigma_e = 20.84$. Таким образом, наш эмпирический интервал: (80.5; 205.6) — и в него попадают практически все значения, кроме 9 (0.4 % от выборки). Именно эти точки и являются искомыми тревожными значениями показателя общего уровня риска наркотизации в нашем исследовании.

На рисунке 2 представлена диаграмма типа Диаграмма размаха («ящик с усами»), изображающая медиану

вариационные ряды частот общий балл

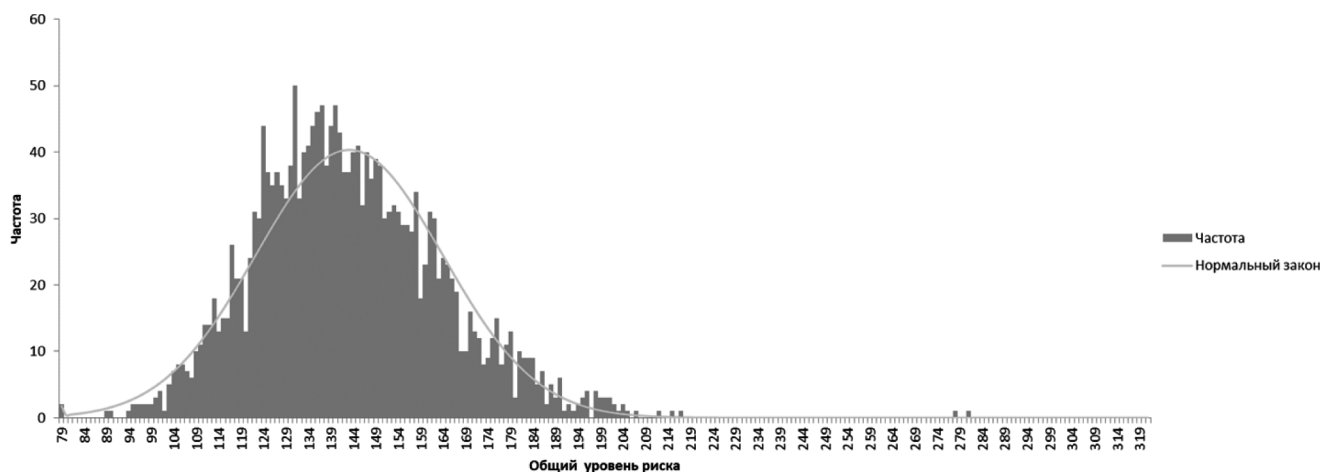


Рис. 1. Дискретный вариационный ряд показателя общего уровня риска наркотизации — частота n_j и теоретическая частота — n_{ij} для нормального закона

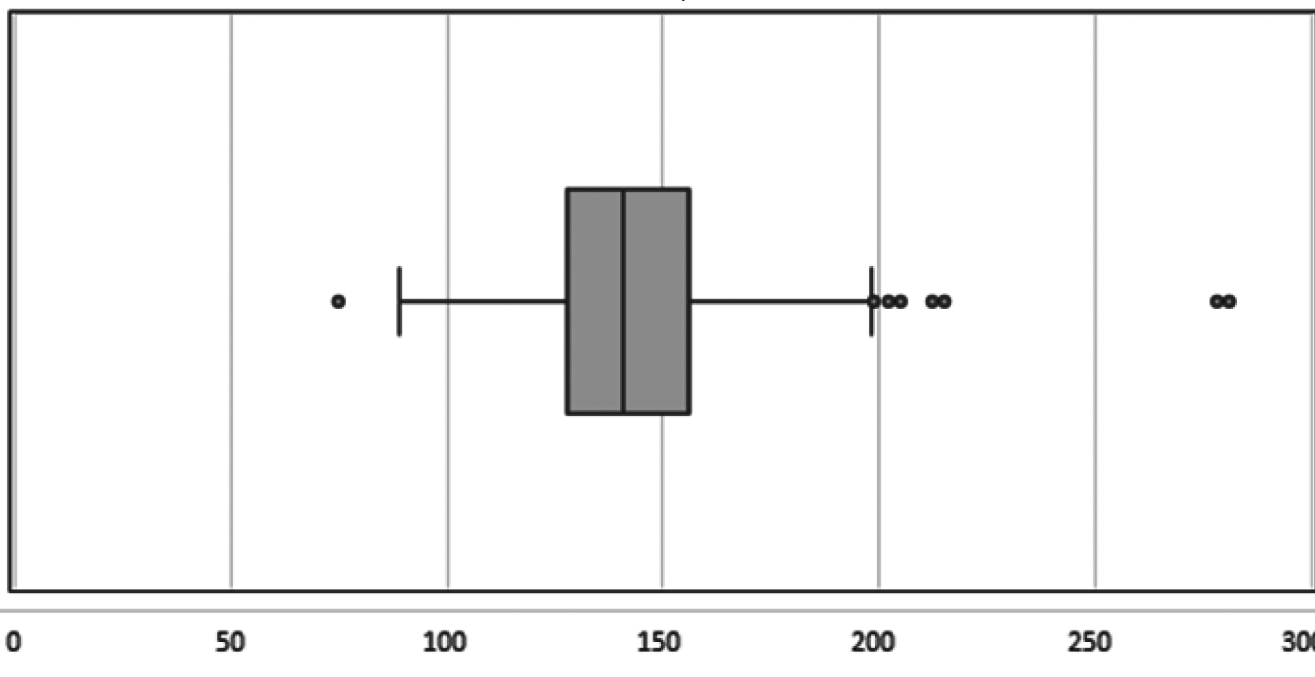


Рис. 2. Диаграмма размаха

показателя общего уровня риска наркотизации с 95 % доверительным интервалом, интерквартильный размах и выбросы.

3) Коэффициенты асимметрии и эксцесса нормального распределения равны нулю. В нашем случае эти характеристики не равны нулю, но и невелики: $A_3 = 0.6$, $E_k = 1.6$. Однако, если коэффициент асимметрии > 0.5 , то она считается существенной. После исключения из выборки 9 грубых выбросов коэффициент асимметрии распределения уменьшился до 0.19, и она стала незначима, эксцесс поменял знак -1.6 .

Следуя рекомендациям литературных источников, заключаем, что перечисленные выше предпосылки ещё

не означают, что соответствующая гипотеза будет принята. Далее применили графический метод Квантиль-Квантиль (Q-Q plot). Согласно источнику [12] Этот метод «позволяет:

- оценить степень отклонения данных от теоретического распределения;
- графически проиллюстрировать такие параметры как расположение данных (медиану), масштаб (дисперсию) и скошенность (наклон функции плотности распределения);
- сравнить две выборки между собой;
- делать выводы, не основываясь на таких спорных показателях как $p.value$. Фактически, $p.value$ в случае Q-Q Plot будет оценивать человеческий мозг на основе визуального изучения».

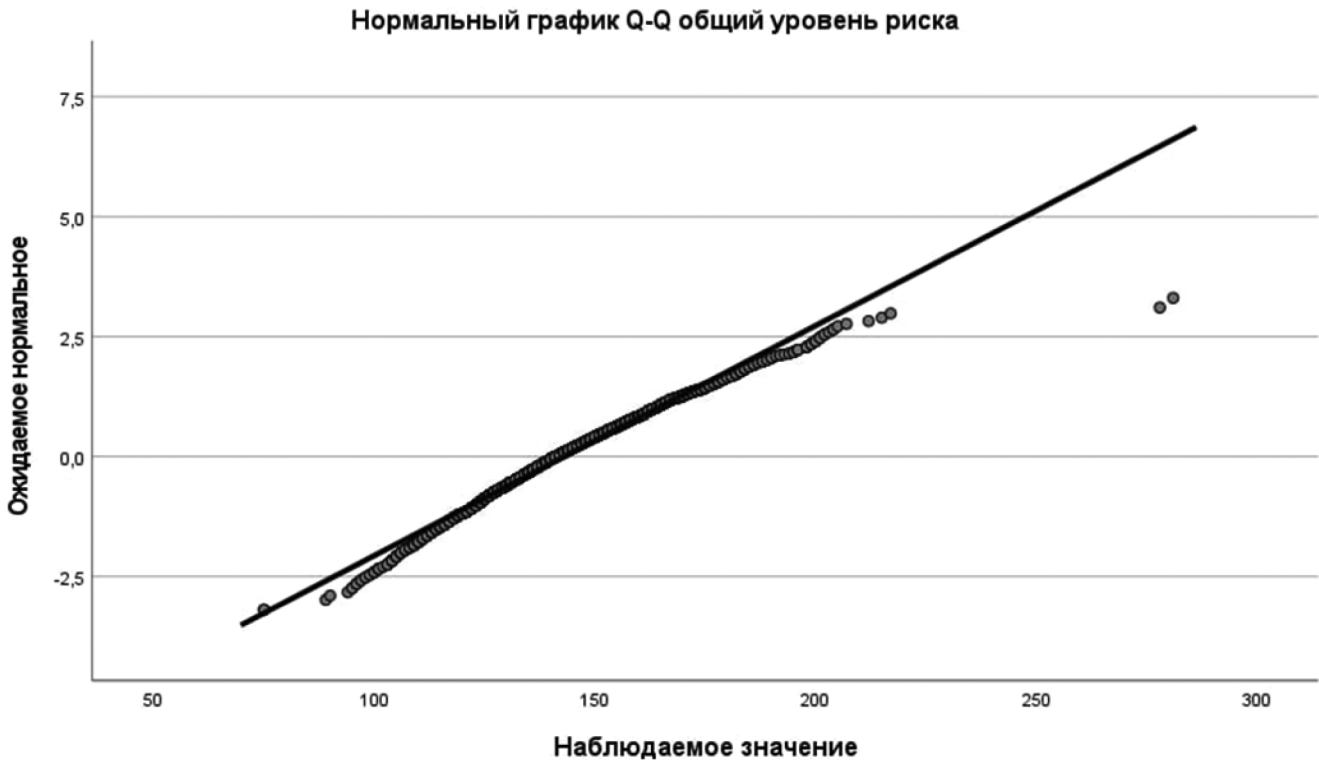


Рис. 3. Диаграмма Квантиль-Квантиль (Q-Q plot) для показателя общего уровня риска наркотизации

На рисунке 3 представлен график типа Q-Q plot, полученный средствами статистического пакета IBM SPSS Statistics. Как видно частота n_j и теоретическая частота nt_j хорошо согласуются, а выбросы соответствуют точкам, выделенным на Диаграмме размаха.

Оценка применимости методов аналитической статистики

Результаты полученные, методами описательной статистики позволяют, нам и при решении задач аналитической статистики применять критерии, основанные на нормальном законе распределения случайных величин.

Исходя из того, что индикаторы, соответствующие баллам на вопросы теста, были представлены в порядковой и бинарных шкалах, сопоставили результаты оценки коэффициентов корреляции Пирсона, Спирмена и Фи-коэффициента. Для того, чтобы контролировать алгоритм расчета, первоначально вычисления выполняли с помощью приложения MS Excel, а не специализированных статистических пакетов. В частности, при оценке коэффициентов Спирмена необходимо учитывать число совпадающих (связанных) рангов, и расчетная формула должна содержать поправки. Согласно [13, С.35].

При наличии связанных рангов выражение r^s приобретает вид:

$$r^s = \frac{\frac{1}{6}(N^3 - N) - \sum_{i=1}^N (x^i - y^i)^2 - T - U}{\sqrt{\left[\frac{1}{6}(N^3 - N) - 2T \right] \left[\frac{1}{6}(N^3 - N) - 2U \right]}} \quad (1)$$

где

$$T = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^k t_i (t_i^2 - 1), \quad U = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^l u_i (u_i^2 - 1) \quad (2)$$

k и l — число случаев появления связанных рангов; t_i и u_i — число совпадающих рангов в каждом из упорядочений; N — число респондентов; r^s — коэффициент корреляции Спирмена.

Сформировалось мнение, что интерпретация матрицы коэффициентов корреляции Пирсона имеет смысл только при метрических шкалах, а большинство социальных признаков измеряются категориальными шкалами [14]. Авторы на основании литературных источников обсуждают несколько способов легитимизовать расчет коэффициентов корреляции Пирсона, для порядковых индикаторов, в том числе принять допущение о том, что порядковые индикаторы можно считать интервальными, или дихотомизировать их. В наших исследованиях использовано первое допущение. При этом измерения проводили по четырехбалльной шкале Лайкерта. Наибольшую проблему при оценке коэффициентов корреляции Пирсона должны представлять индикаторы, выраженные в бинарной шкале. В нашем исследовании это были восемь следующих вопросов: 60) Меняли ли Вы

Таблица 3.

Сопоставление коэффициентов корреляции для бинарных индикаторов

| № Вопрос № | Коэффициент | 60) | 43) | 24) | 47) | 48) | 49) | 63) | 57 |
|------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 60) | Фи | 1.000 | 0.043 | -0.016 | 0.053 | 0.035 | 0.063 | 0.075 | 0.089 |
| | Пирсон | 1.000 | 0.043 | -0.016 | 0.053 | 0.035 | 0.063 | 0.075 | 0.089 |
| | Спирмен | 1.000 | 0.046 | -0.016 | 0.054 | 0.037 | 0.065 | 0.076 | 0.092 |
| 43) | Фи | 0.043 | 1.000 | -0.092 | 0.092 | 0.092 | 0.051 | 0.075 | 0.059 |
| | Пирсон | 0.043 | 1.000 | -0.092 | 0.092 | 0.092 | 0.051 | 0.075 | 0.059 |
| | Спирмен | 0.046 | 1.000 | -0.087 | 0.096 | 0.098 | 0.055 | 0.082 | 0.070 |
| 24) | Фи | -0.016 | -0.092 | 1.000 | -0.068 | -0.084 | -0.055 | -0.032 | -0.059 |
| | Пирсон | -0.016 | -0.092 | 1.000 | -0.068 | -0.084 | -0.055 | -0.032 | -0.059 |
| | Спирмен | -0.016 | -0.087 | 1.000 | -0.067 | -0.082 | -0.054 | -0.030 | -0.055 |
| 47) | Фи | 0.053 | 0.092 | -0.068 | 1.000 | 0.524 | 0.498 | 0.220 | 0.052 |
| | Пирсон | 0.053 | 0.092 | -0.068 | 1.000 | 0.524 | 0.498 | 0.220 | 0.052 |
| | Спирмен | 0.054 | 0.096 | -0.067 | 1.000 | 0.525 | 0.499 | 0.222 | 0.056 |
| 48) | Фи | 0.035 | 0.092 | -0.084 | 0.524 | 1.000 | 0.445 | 0.205 | 0.075 |
| | Пирсон | 0.035 | 0.092 | -0.084 | 0.524 | 1.000 | 0.445 | 0.205 | 0.075 |
| | Спирмен | 0.037 | 0.098 | -0.082 | 0.525 | 1.000 | 0.446 | 0.208 | 0.081 |
| 49) | Фи | 0.063 | 0.051 | -0.055 | 0.498 | 0.445 | 1.000 | 0.195 | 0.025 |
| | Пирсон | 0.063 | 0.051 | -0.055 | 0.498 | 0.445 | 1.000 | 0.195 | 0.025 |
| | Спирмен | 0.065 | 0.055 | -0.054 | 0.499 | 0.446 | 1.000 | 0.197 | 0.029 |
| 63) | Фи | 0.075 | 0.075 | -0.032 | 0.220 | 0.205 | 0.195 | 1.000 | 0.119 |
| | Пирсон | 0.075 | 0.075 | -0.032 | 0.220 | 0.205 | 0.195 | 1.000 | 0.119 |
| | Спирмен | 0.076 | 0.082 | -0.030 | 0.222 | 0.208 | 0.197 | 1.000 | 0.124 |
| 57) | Фи | 0.089 | 0.059 | -0.059 | 0.052 | 0.075 | 0.025 | 0.119 | 1.000 |
| | Пирсон | 0.089 | 0.059 | -0.059 | 0.052 | 0.075 | 0.025 | 0.119 | 1.000 |
| | Спирмен | 0.092 | 0.070 | -0.055 | 0.056 | 0.081 | 0.029 | 0.124 | 1.000 |

местожительство за последний год?; 43) Пробовали ли Вы когда-нибудь наркотики?; 24) Являетесь ли Вы участником какого-либо неформального общественного движения или общественной организации?; 47) Знаете ли Вы людей, которые в прошлом употребляли марихуану или другие наркотики?; 48) Знаете ли Вы людей, которые в прошлом продавали или имели дело с наркотиками?; 49) Знаете ли Вы людей, которые в прошлом делали незаконные вещи, которые могли привести к осложнениям в отношениях с полицией?; 63) Были ли когда-нибудь у кого-либо в Вашей семье проблемы с алкоголем или наркотиками?; 57) Меняли ли Вы ВУЗ в прошлом году?

Для сохранения масштаба индикаторов при вычислении агрегированных показателей, их кодировали как 1 или 4. Как видно из таблицы 3, для бинарных переменных, значения всех трех рассматриваемых коэффициентов корреляции близки.

Вероятно, при таком способе кодирования бинарных индикаторов среднее арифметическое может служить оценкой математического ожидания несмотря на то, что значения не дихотомизированы до уровня $0 \div 1$. Для подтверждения этой гипотезы для восьми бинарных индикаторов рассчитали новые оценки среднего арифметического, для случая дихотомизированной переменной, интерпретируя его, как долю объектов, имеющих значение 1 среди всех изученных объектов [16]. При этом требование симметричности распределения превращается в требование его равномерности. А непрерывность дихотомических переменных проявляется в способности характеризовать совокупность изучаемых объектов любой точкой, отражающей (якобы) среднее арифметическое на отрезке $[0;1]$ [14].

На рисунке 4 сопоставили результаты традиционной оценки среднего арифметического и по способу, пред-

ложенному в работе [15]. Чтобы масштаб сравниваемых величин был сопоставим, традиционную оценку представили в долях от 4. Как видно традиционные оценки чуть выше, но тренд значений совпадает.

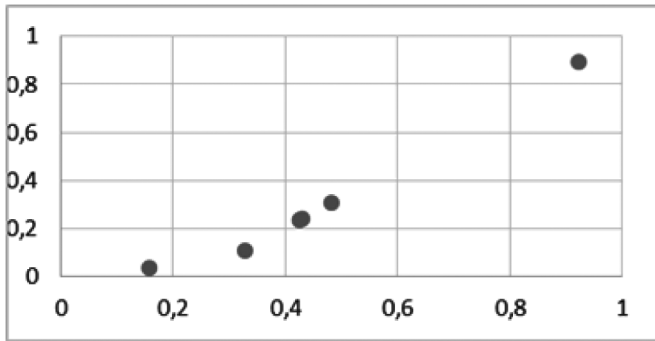


Рис. 4. Диаграмма рассеяния для средних арифметических восьми бинарных переменных, рассчитанных по значениям соответствующего индикатора (ось X) и по способу, предложенному в работе [15] (ось Y)

Для порядковых индикаторов сопоставили только коэффициенты Пирсона и Спирмена. На рисунке 5 приведены точечные диаграммы рассеяния значений этих коэффициентов для показателя общего уровня наркотизации и первого вопроса. Как видно значения коэффициентов практически совпадают.

В работе [16] говорится о большом влиянии выбросов на коэффициент корреляции. Рекомендуется исключить их из выборки и делается оговорка, что это возможно только на основании соображений предметной области, а не на применении статистических критериев. В нашем случае последняя оговорка очень важна, так как выбросы справа на Диаграмме размаха соответствуют результату достижения цели исследования, т.е. выделения респондентов с высоким уровнем риска наркотизации. Выбросы не удаляли. Значения индикаторов и общего показателя для них не являются погрешностями эксперимента, а как раз наоборот, проявлением закономерностей в данных опроса.

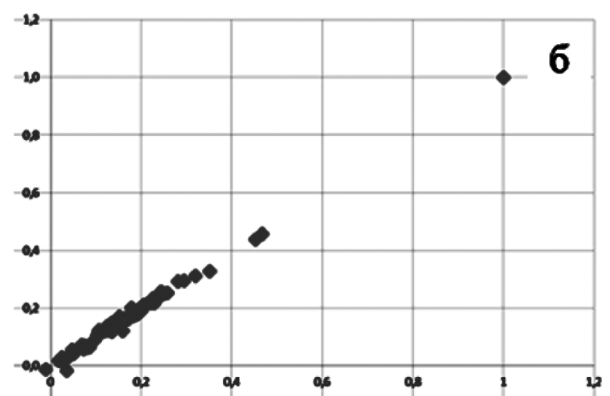
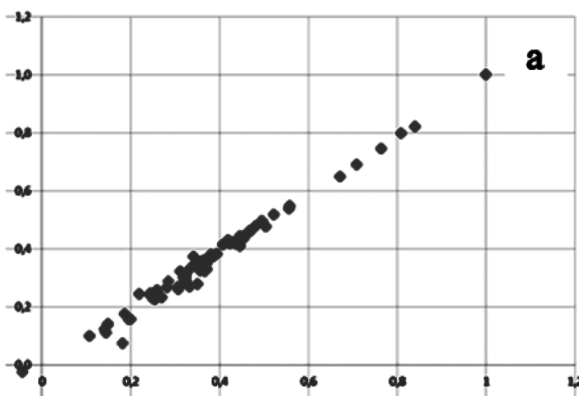


Рис. 5. Диаграммы рассеяния коэффициентов Пирсона и Спирмена для показателя общего уровня наркотизации (а) и первого вопроса (б)

Значимость коэффициентов корреляции сначала оценивали по шкале Чеддока. На рисунке ба представлена тепловая карта коэффициентов корреляции Спирмена. Красным цветом обозначены значения, превышающие 0.3, желтым -0.5. При разработке анкеты вопросы были сгруппированы по пяти социометрическим факторам: близкое окружение, индивидуальный, макросоциальная среда, образовательная среда, семейный. И показатель общего уровня риска наркотизации является суммой баллов, полученных респондентом по индикаторам каждой группы. Здесь приведены не только коэффициенты парной корреляции между индикаторами и показателем общего уровня риска, но и корреляции с агрегированными показателями по выделенным пяти группам факторов. Именно они соответствуют желтому прямоугольнику в нижнем углу карты ба.

Однако в работе Орлов А.И. [16] утверждает, что критическое значение значимости коэффициента корреляции зависит от объема выборки и стремится к нулю при больших объемах. Вместе с тем, достаточно сложно найти таблицы с рассчитанными критическими значениями при больших N. Например, в работе [17] для числа степеней свободы $f = 120$ приводится значение корреляции Пирсона $r_{кр} = 0.15$ и следующее $f = \infty$ $r_{кр} = 0.07$. В работе [18] наибольшее значение $f = 1000$, а $r_{кр} = 0.06$, а для корреляции Спирмена значения f заканчиваются на 40. На рисунке бб приведена тепловая карта коэффициентов Спирмена, где желтым цветом выделены значения, превышающие 0.06. Как видно, наибольшая часть коэффициентов оказывается значимой.

Для проверки достоверности полученных результатов повторили расчеты коэффициентов корреляции с помощью аналитической low-code платформы LogiNot [19]. Значения матрицы коэффициентов корреляции Пирсона совпали с рассчитанными нами в Excel. Что касается матрицы коэффициентов корреляции Спирмена, то платформа LogiNot позволяет выполнять расчет только для случая отсутствия связанных рангов в порядковых

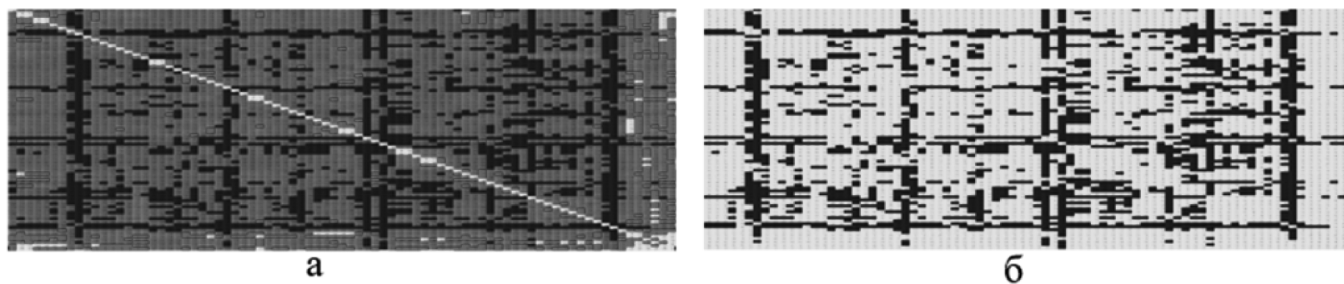


Рис. 6. Тепловая карта коэффициентов корреляции Спирмена при оценке значимости по шкале Чеддока — (а) и по $r_{кр}$ — (б)

индикаторах. Если такие совпадающие значения рангов наблюдаются, то выполняется расчет коэффициентов Пирсона. В наших данных, имеет место очень большое число связанных рангов, поэтому при запросе на вычисление коэффициентов корреляции Спирмена мы получили опять матрицу коэффициентов Пирсона. Но это вполне справедливо, так как наши результаты расчета коэффициентов корреляции Спирмена по формуле с поправками тоже очень близки к матрице коэффициентов Пирсона. Пренебрежение поправками сильно завышает значения коэффициентов корреляции Спирмена.

Наличие в матрице коэффициентов корреляции индикаторов с большой силой парной корреляции говорит о возможности сокращения числа вопросов в анкете без потери ее согласованности. Из результатов теста исключили 5 вопросов из скоррелированных пар. Так же был выявлен и исключен вопрос, незначимо коррелирующий с другими индикаторами и показателем общего риска наркотизации. Оценили коэффициенты «альфа» Кронбаха по результатам теста до 0.895 и после 0.889 исключения, отобранных шести вопросов. Как видно, согласованность теста не уменьшилась, а сокращение числа вопросов уменьшает время его прохождения.

Заключение

Выполненные исследования подтвердили мнение авторов [20] о том, что гипотеза нормальности и методы, на ней основанные, могут быть достоверно применены при обработке результатов социологических тестов, несмотря на мнение других авторитетных российских ученых. Так, например, применения 3-сигма критерия позволяет выявить респондентов с повышенным риском наркотизации. Наши результаты, однако, говорят о том, что социологические данные при проверке гипотез согласия и корреляции необходимо обрабатывать несколькими способами и сопоставлять полученные результаты. Подобный вывод сделан Орловым А.И. [16], на основе теории устойчивости. Это требует высокой квалификации аналитика, а простое применение статистических пакетов может привести ошибочным выводам. В частности, при оценке корреляции Спирмена надо учитывать связанные ранги, а при выявлении грубых выбросов, опираться на содержательную часть исследования. Анализ коэффициентов парной корреляции между индикаторами позволяет уменьшить объем анкеты без потери согласованности. Полученные нами рекомендации и алгоритмы визуализации будут реализованы в ИС «АССОЛЬ» в качестве подсистемы поддержки принятия решения инженером-социологом, разработанной в ИргУПС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crossman, Ashley. «Correlation Analysis in Research.» ThoughtCo, Apr. 5, 2023, thoughtco.com/what-is-correlation-analysis-3026696.
2. Муслон С.А. Вычисление α Кронбаха при тестировании и опросах по исследованию качества жизни на занятиях по статистике в медицинских вузах — Москва: ООО «Издательство АЛЕФ», 2023.
3. Ильясов Ф.Н. Типы шкал и анализ распределений в социологии // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. 2014. №4. С. 24–40.
4. Крыштановский А.О. Анализ социологических данных с помощью пакета SPSS. М.: ГУ ВШЭ, 2006.
5. Орлов А.И. Часто ли распределение результатов наблюдений является нормальным? // Заводская лаборатория. 1991. № 7.
6. Орлов А.И. Прикладная статистика: учебник. М.: Экзамен, 2006.
7. В. Комарова, Ю.М. Вассерман, Н. Селиванова-Федорова. Уровень развития человеческого потенциала: глобальная дифференция // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки 2019. № 4. С.145–160.
8. А.Д. Зотьева. О социологических индексах с нормальным законом распределения//Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. 2020. №4.
9. Информационная система социологического и психологического тестирования «АССОЛЬ» URL: <https://www.irgups.ru/eis/aist/> (дата обращения: 01.03.2024).
10. Петрушин В.Н., Ульянов М.В., Чертихина И.А., Никульче Е.В. Бикритериальный метод построения и оценки качества гистограмм // информационные технологии и вычислительные системы. 2012. №4.

11. Емелин А. Теория вероятностей. Базовые термины и понятия URL: http://mathprofi.ru/teorija_verojatnostei.html (дата обращения: 01.03.2024).
12. Силкин В. Q-Q Plots. URL: <https://habr.com/ru/articles/578754/> (дата обращения: 01.03.2024).
13. Низаметдинов Ш.У., Румянцев В.П. Анализ данных: учебное пособие. М. НИЯУ МИФИ, 2012. 288 с.
14. Зангиева И.К., Ротмистров А.Н. Сравнительный анализ способов проведения факторного анализа на порядковых переменных // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2018. № 3. С. 29–46
15. Толстова Ю.Н. Анализ социологических данных // Методология, дескриптивная статистика, изучение связей между номинальными признаками — М.: Научный мир, 2000. 352с.
16. Орлов А.И. Ошибки при использовании коэффициентов корреляции и детерминации // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2018. №3.
17. Татарчук Д.П. Математические основы психологии: учебное пособие. Орский гуманитарно-технологический институт. 2015.
18. Fisher R.A., Frank Y. Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research, 6th ed., published by Longman Group, Ltd., London (previously published by Oliver and Boyd, Edinburgh), Table VII.
19. Loginom Коэффициент ранговой корреляции Спирмена URL: <https://wiki.loginom.ru/articles/rank-correlation-spearman.html>. (дата обращения: 01.03.2024).
20. Зотьева И.К., Комарова И.В., Вассерман Ю.М., Селиванова-Федорова Н. Уровень развития человеческого потенциала // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. 2019. №4.

© Замятин Владимир Михайлович (zamvov01@yandex.ru); Молчанова Елена Ивановна (moleli59@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИССЛЕДОВАНИЕ АРХИТЕКТУРЫ GRU В КОНТЕКСТЕ PYTHON: ПОДХОДЫ И ПРИМЕНЕНИЯ

GRU ARCHITECTURE RESEARCH IN THE CONTEXT OF PYTHON: APPROACHES AND APPLICATIONS

H. Istamqulov

Summary. This article explores the analysis of Gated Recurrent Unit (GRU) networks using Python, focusing on their application in deep learning for processing sequential data. It begins with an overview of recurrent neural networks (RNNs) and the rationale behind GRUs. The article then delves into the architecture of GRUs, illustrating their unique features such as reset and update gates. It provides a practical guide to implementing GRU networks in Python with popular libraries like TensorFlow and Keras, including sample code for building and evaluating models. The article also compares GRUs with other RNN variants, highlighting their advantages in various scenarios. In conclusion, it underscores the significance of GRUs in handling temporal dependencies and their potential in future deep learning research.

Keywords: Gated Recurrent Unit (GRU), Recurrent Neural Networks (RNN), Python, Deep learning, Temporal dependencies, TensorFlow, Keras, Model evaluation, Neural network architecture.

Истамкулов Хасанжон Саиджонович

К.т.н., Худжандский Государственный
Университет им. Ак. Б. Гафурова, Таджикистан
istamqulov@gmail.com

Аннотация. В этой статье рассматривается анализ сетей Gated Recurrent Unit (GRU) с помощью Python с упором на их применение в глубоком обучении для обработки последовательных данных. Статья начинается с обзора рекуррентных нейронных сетей (РНС) и обоснования GRU. Затем статья углубляется в архитектуру GRU, иллюстрируя их уникальные особенности, такие как ворота сброса и обновления. В статье представлено практическое руководство по реализации GRU-сетей на Python с помощью популярных библиотек TensorFlow и Keras, включая примеры кода для построения и оценки моделей. В заключение подчеркивается важность GRU для работы с временными зависимостями и их потенциал в будущих исследованиях в области глубокого обучения.

Ключевые слова: Gated Recurrent Unit (GRU), Рекуррентные нейронные сети, RNN, Python, глубокое обучение, последовательная обработка данных, TensorFlow, Keras, оценка моделей, архитектура нейронных сетей.

Введение

В последние годы в области глубокого обучения наблюдаются значительные успехи, особенно в области обработки последовательных данных. Рекуррентные нейронные сети (RNN, РНС рус.) стали мощным инструментом для обработки данных временных рядов, обработки естественного языка и других задач, связанных с временными зависимостями. Однако традиционные RNN часто сталкиваются с проблемой исчезающего градиента, что препятствует их способности к изучению дальних зависимостей в последовательностях данных.

Для решения этой проблемы были созданы сети с управляемыми рекуррентными блоками (Gated Recurrent Unit, GRU), которые являются разновидностью RNN. В GRU встроены механизмы регулировки потока информации, что позволяет им сохранять релевантную информацию в длинных последовательностях данных и смягчать проблему исчезающего градиента. Это делает GRU привлекательным выбором для широкого спектра приложений, от распознавания речи до прогнозирования временных рядов.

Язык программирования Python с его богатой экосистемой библиотек и фреймворков, таких как TensorFlow,

Keras и PyTorch, стал популярным выбором для реализации и анализа сетей GRU. Простота и гибкость Python позволяют исследователям и практикам эффективно строить и экспериментировать с моделями GRU.

Цель данной статьи — провести глубокий анализ GRU-сетей, подчеркнуть их архитектуру, преимущества и практическую реализацию с помощью Python. Исследуя нюансы сетей GRU, мы стремимся пролить свет на их потенциал и помочь читателям использовать эти модели для решения своих собственных задач последовательной обработки данных.

Описание модели GRU

Сети GRU, представленные в 2014 году, представляют собой упрощенную версию сетей LSTM, которая сохраняет возможность моделирования долгосрочных зависимостей при снижении вычислительной сложности. Ячейка GRU характеризуется двумя фильтрами: фильтрами обновления и фильтрами сброса. Фильтры обновления контролируют степень переноса предыдущего скрытого состояния, а фильтры сброса определяют, какую часть прошлой информации следует забыть. Математически ячейка GRU может быть представлена следующим образом [1]:

$$z_t = \sigma_g(W_z x_t + U_z h_{t-1} + b_z)$$

$$r_t = \sigma_g(W_r x_t + U_r h_{t-1} + b_r)$$

$$h_t = z_t \circ h_{t-1} + (1 - z_t) \circ \sigma_h(W_h x_t + U_h (r_t \circ h_{t-1}) + b_h)$$

где x_t — Входной вектор;
 h_t — Выходной вектор;
 z_t — вектор вентиля обновления;
 r_t — вектор вентиля сброса;
 $W, U, и b$ — матрицы параметров и вектор;
 σ_g — Функция активации на основе сигмоида;
 σ_h — Функция активации на основе гиперболического тангенса.

Ниже приведено визуальное описание структуры ячейки GRU сети:

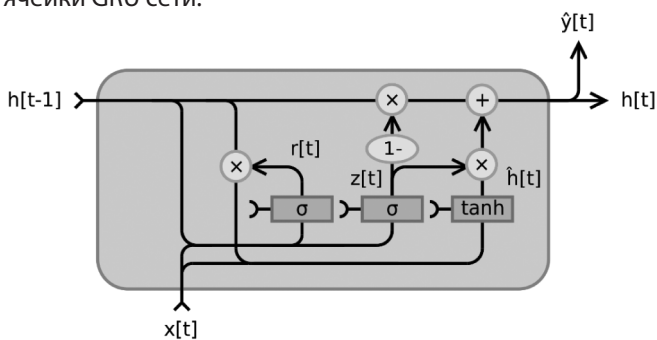


Рис. 1. Схема работы ячейки GRU

1. **Входной слой:** Входной слой — это первая точка соприкосновения входных данных в сети GRU. В контексте обработки естественного языка входные данные обычно представляют собой последовательность слов или лексем. Эти лексемы обычно преобразуются в плотные векторные представления, известные как вкрапления слов, которые отражают семантическое значение слов. Входной слой получает эти вкрапления и передает их в слой GRU для дальнейшей обработки. Размерность входного слоя соответствует размеру вкраплений слов.
2. **Слой(и) GRU:** Слой GRU — это основной компонент сети, в котором происходит последовательная обработка. Блок GRU — это усовершенствованный вариант стандартной ячейки рекуррентной нейронной сети (RNN), разработанный для решения проблемы исчезающего градиента, часто встречающейся в традиционных RNN. Блок GRU состоит из двух вентилях: вентиля обновления и вентиля сброса.
 - Вентиль обновления контролируют степень переноса информации из предыдущего состояния в текущее. Он помогает модели решить, какой объем прошлой информации следует сохранить для будущих вычислений. Это очень важно для улавливания долгосрочных зависимостей в данных.
 - Вентиль сброса: Ворота сброса определяют, какая

часть прошлой информации должна быть забыта. Это позволяет модели отбросить неактуальную информацию и сосредоточиться на наиболее важных деталях для текущего прогноза.

Слой GRU может быть сложен, то есть несколько слоев GRU могут быть размещены друг над другом, чтобы увеличить способность модели улавливать сложные закономерности в данных. Выход каждого блока GRU передается следующему блоку в последовательности, а также следующему слою в стеке, если таковой имеется [2].

3. **Выходной слой:** Выходной слой отвечает за получение конечного результата работы сети. Характер выходного слоя зависит от конкретной задачи, для выполнения которой предназначена сеть GRU. Например, в задаче классификации выходной слой может состоять из активационной функции **softmax**, которая генерирует распределение вероятностей по возможным классам. В задаче регрессии выходной слой может состоять из линейной функции активации, которая генерирует непрерывный выход. В задаче генерации последовательности выходной слой может генерировать последовательность лексем или слов, часто используя функцию **softmax** на каждом временном шаге.

Архитектура сети GRU позволяет ей эффективно обрабатывать последовательные данные, что делает ее пригодной для широкого спектра приложений, включая моделирование языка, машинный перевод, распознавание речи и прогнозирование временных рядов. Способность GRU улавливать долгосрочные зависимости и обрабатывать входные последовательности переменной длины делает ее мощным инструментом для моделирования последовательных данных [3].

Процесс обучения сети GRU включает в себя несколько этапов и гиперпараметров:

1. **Гиперпараметры:** это параметры, которые задаются перед началом процесса обучения и включают в себя количество слоев GRU, количество единиц в каждом слое GRU, размер вкраплений слов, скорость обучения, размер партии и количество эпох.
2. **Метод оптимизации:** это метод, используемый для обновления весов сети во время обучения. К распространенным методам оптимизации относятся стохастический градиентный спуск (SGD), Adam, RMSprop и Adagrad. Каждый из этих оптимизаторов имеет свои преимущества и выбирается в зависимости от особенностей данных и задачи.
3. **Функция потерь:** это функция, которая измеряет разницу между прогнозируемым выходом сети и фактическим целевым выходом. Выбор функции

потерь зависит от типа задачи. Например, в задаче классификации обычно используются потери от перекрестной энтропии, в то время как в задаче регрессии более подходящей может быть средняя квадратичная ошибка.

4. **Процесс обучения:** Процесс обучения включает в себя подачу входных данных в сеть, вычисление потерь с помощью функции потерь, а затем обновление весов сети с помощью техники оптимизации. Этот процесс повторяется в течение определенного количества эпох или до тех пор, пока потери не придут к минимальному значению.
5. **Оценка:** после обучения сети она оценивается на отдельном проверочном или тестовом наборе для определения ее производительности. Общие метрики оценки включают точность, прецизионность, отзыв и F1 оценка для задач классификации, а также среднюю абсолютную ошибку или среднюю квадратичную ошибку для задач регрессии.

Тщательно настроив эти гиперпараметры и выполнив процесс обучения, можно эффективно обучить сеть GRU для выполнения широкого спектра задач с последовательными данными, таких как классификация текстов, языковое моделирование и машинный перевод.

Создание сети GRU на языке Python

Есть два варианта создания сетей GRU — с нуля и на основе готовой модели.

Создание GRU-сети с нуля на Python без использования готовых моделей, как в TensorFlow или PyTorch, — сложная задача, которая обычно не делается, в угоду использования готовых решений. Для создания модели GRU нужно будет создать сущности ячеек GRU, функций активации, и логики перехода между слоями:

```
import numpy as np

def sigmoid(x):
    return 1 / (1 + np.exp(-x))

def tanh(x):
    return np.tanh(x)

class GRUCell:
    def __init__(self, input_size, hidden_size):
        self.input_size = input_size
        self.hidden_size = hidden_size

    # Initialize weights
    self.Wz = np.random.randn(hidden_size, input_size)
    self.Wr = np.random.randn(hidden_size, input_size)
    self.Wh = np.random.randn(hidden_size, input_size)
    self.Uz = np.random.randn(hidden_size, hidden_size)
    self.Ur = np.random.randn(hidden_size, hidden_size)
```

```
self.Uh = np.random.randn(hidden_size, hidden_size)
self.bz = np.zeros((hidden_size, 1))
self.br = np.zeros((hidden_size, 1))
self.bh = np.zeros((hidden_size, 1))

def forward(self, x, h_prev):
    z = sigmoid(np.dot(self.Wz, x) + np.dot(self.Uz, h_prev) + self.bz)
    r = sigmoid(np.dot(self.Wr, x) + np.dot(self.Ur, h_prev) + self.br)
    h_tilde = tanh(np.dot(self.Wh, x) + r * np.dot(self.Uh, h_prev) + self.bh)
    h_next = (1 - z) * h_tilde + z * h_prev
    return h_next
```

В этом примере класс GRUCell определяет одну ячейку GRU с необходимыми весами и смещениями. Метод forward принимает входной вектор x и предыдущее скрытое состояние h_{prev} , и вычисляет следующее скрытое состояние h_{next} , используя уравнения GRU [8]. Функции активации *sigmoid* и *tanh* созданы на основе математических функций пакета *numpy*.

Объекты класса GRUCell могут быть использованы как компоненты сети GRU. Для этого будет необходимо создать класс модели GRU:

```
class GRUNetwork:
    def __init__(self, input_size, hidden_size, output_size):
        self.input_size = input_size
        self.hidden_size = hidden_size
        self.output_size = output_size

    # Создание
    self.gru_cell = GRUCell(input_size, hidden_size)

    # Веса слоев и базисас
    self.Wo = np.random.randn(output_size, hidden_size)
    self.bo = np.zeros((output_size, 1))

    def forward(self, input_sequence):
        h = np.zeros((self.hidden_size, 1))

        for x in input_sequence:
            h = self.gru_cell.forward(x, h)

        output = np.dot(self.Wo, h) + self.bo
        return output

# Пример использования сети GRUNetwork:
input_size = 5
hidden_size = 32 # количество юнитов GRU
output_size = 2
sequence_length = 10
gru_network = GRUNetwork(input_size, hidden_size, output_size)

# Входные данные
input_sequence = [np.random.randn(input_size, 1) for _ in range(sequence_length)]
```



```
# Процесс обработки сети
output = gru_network.forward(input_sequence)
print(output)
```

На момент написания данной статьи, почти все известные библиотеки в сфере ИИ, имеют готовые к использованию модели GRU с настроенной логикой. Ниже приведен пример создания GRU сети на основе Keras [5]:

```
import tensorflow as tf
from tensorflow.keras.models import Sequential
from tensorflow.keras.layers import Embedding, GRU, Dense

# Настройка параметров модели
vocab_size = 10000 # Размер словаря
embedding_dim = 64 # Размерность вектора
gru_units = 32 # Количество юнитов в слое GRU
max_length = 100 # Максимальная длина входных данных
num_classes = 2 # Количество классов вывода

# Создание GRU модели
model = Sequential([
    Embedding(input_dim=vocab_size, output_dim=embedding_dim, input_length=max_length),
    GRU(units=gru_units),
    Dense(units=num_classes, activation='softmax')
])

# Компиляция модели
model.compile(
    optimizer='adam', loss='sparse_categorical_crossentropy', metrics=['accuracy']
)

# Суммаризация модели
model.summary()
```

При построении сети GRU с нуля, как показано в первом примере, необходимо глубокое понимание математических операций и структуры ячеек GRU. Такой подход обеспечивает высокую степень гибкости и позволяет на-

страивать архитектуру GRU в соответствии с конкретными требованиями. Однако он также требует тщательного управления весами и смещениями сети, а также тщательной реализации алгоритма прямого распространения для обеспечения правильного вычисления скрытых состояний и выхода.

С другой стороны, использование готовых GRU-моделей из библиотек глубокого обучения, таких как Keras, как показано во втором примере, значительно упрощает процесс создания и обучения GRU-сетей. Эти библиотеки предоставляют предопределенные GRU-слои с оптимизированными реализациями, которые можно легко интегрировать в модель нейронной сети [6]. Такой подход не только сокращает время разработки, но и гарантирует, что сеть GRU будет использовать последние оптимизации и улучшения в базовой библиотеке.

При выборе между созданием сети GRU с нуля или использованием готовой модели важно учитывать такие факторы, как уровень необходимой настройки, сложность задачи и доступные вычислительные ресурсы. Для большинства практических приложений использование готовых слоев GRU из известных библиотек глубокого обучения является более эффективным и надежным выбором. Однако для исследовательских целей или узкоспециализированных приложений построение GRU-сети с нуля может дать ценные сведения и больший контроль над поведением сети [4].

В заключение следует отметить, что сети GRU являются мощным инструментом для обработки последовательных данных, а Python предоставляет универсальную платформу для реализации и анализа таких сетей. Созданные с нуля или построенные на основе готовых моделей, GRU-сети могут быть адаптированы к широкому спектру приложений, от обработки естественного языка до прогнозирования временных рядов. Понимая сильные стороны и ограничения каждого подхода, разработчики и исследователи могут эффективно использовать сети GRU для раскрытия потенциала последовательных данных в своих проектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Foundation, «Gated recurrent unit,» [Online]. Электронный источник: https://en.wikipedia.org/wiki/Gated_recurrent_unit. [Дата обращения: 15.11.2024].
2. С. Чжан, «A GRU-Gated Attention Model for Neural Machine Translation» // IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2017 г. С. 4688–4698.
3. Чо, К., Ван Меррэнбоер, Б., Гульчехр, К., Бахдану, Д., Бугарес, Ф., Швенк, Х., и Бенгио, Й. Learning Phrase Representations using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine. // Association for Computational Linguistics. 2014г. С. 1724–1734
4. Patrick Littell, «Named Entity Recognition for Linguistic Rapid Response in Low-Resource Languages: Sorani Kurdish and Tajik,» Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers, стр. 998–1006, 2016 г.
5. Keras Documentation. / Электронный ресурс. — URL: <https://keras.io/>. — (дата обращения: 17.02.24)
6. PyTorch Documentation. / Электронный ресурс. — URL: <https://pytorch.org/>. — (дата обращения: 17.02.24)
7. TensorFlow Documentation. / Электронный ресурс. — URL: <https://www.tensorflow.org/> — (дата обращения: 17.02.24)
8. Карпаты, А. «A Recipe for Training Neural Networks», дата публ. 25.04.19, / электронный ресурс. URL: <https://karpathy.github.io/2019/04/25/recipe/>

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГРЕЙДИРОВАНИЯ СОТРУДНИКОВ В ОРГАНИЗАЦИИ

AUTOMATION OF THE EMPLOYEE GRADING PROCESS IN AN ORGANIZATION

A. Kovaleva

Summary. This article presents an analysis of the impact of grading automation on the effectiveness of human resources management and the competitiveness of enterprises. The authors have developed a conceptual model of an automated grading system, consisting of four main modules: the grading module, the analytics and reporting module, the career management module, and the integration module. Each module is designed to address specific tasks within personnel management and contributes to enhancing the overall efficiency and transparency of processes.

Keywords: grading, automation, UML diagram, personnel management.

Ковалева Анастасия Валерьевна

Ведущий экономист по труду, соискатель,
Международная межправительственная организация
объединенный институт ядерных исследований
Ananeva@jinr.ru

Аннотация. В статье представлен анализ влияния автоматизации грайдирования на эффективность управления человеческими ресурсами и конкурентоспособностью предприятий. Авторы разработали концептуальную модель автоматизированной системы грайдирования, состоящую из четырех основных модулей: модуль грайдирования, модуль аналитики и отчетности, модуль управления карьерным ростом и модуль интеграции. Каждый модуль предназначен для решения специфических задач в рамках управления персоналом и способствует повышению общей оперативности и прозрачности процессов.

Ключевые слова: грайдирование, автоматизация, UML-диаграмма, управление персоналом.

Введение

Один из наиболее эффективных способов стимулирования сотрудников — внедрение грайдига, классифицирующего должности и персонал по важности и вкладу в цели организации [1]. Главное достоинство — преобразование профессиональных умений в финансовый аналог с оценкой знаний, ответственности, эффективности, дисциплины, квалификации, опыта и вклада в корпоративную культуру. В то время как традиционное управление человеческими ресурсами сталкивается с низкой оперативностью и ограниченностью данных, автоматизация грайдига улучшает эффективность и объективность оценки, снижая риски и повышая справедливость распределения карьерных возможностей и вознаграждений [2]. В статье предложен проект автоматизированной системы грайдирования.

1. Основные компоненты системы грайдирования

Основу системы грайдирования составляют 4 модуля:

Модуль грайдирования является фундаментом системы, предназначен для классификации должностей и сотрудников по грайддам на основе заранее определенных критериев и компетенций. Алгоритмы могут базироваться на заранее определенных правилах или использовать методы искусственного интеллекта. Этот модуль автоматизирует процесс оценки и помогает установить

структурированное и прозрачное распределение ролей внутри организации.

Модуль аналитики и отчетности предоставляет возможность проводить анализ данных о грайддах, выявлять тренды и формировать различные отчеты. С его помощью руководство может принимать более обоснованные решения, связанные с планированием кадровых ресурсов и определением потребностей в обучении.

Модуль управления карьерным ростом позволяет сотрудникам понимать требуемые критерии и пути развития для перехода на следующий грайд. Он помогает сформировать четкую карту карьерного роста, мотивирует сотрудников на развитие и повышение квалификации.

Модуль интеграции обеспечивает совместимость системы грайдирования с другими корпоративными системами и базами данных организации, такими как HR-системы, системы учета рабочего времени и системы обучения и развития. Интеграция упрощает обмен данными и повышает общую эффективность управления персоналом.

Взаимодействие этих модулей и сотрудников показано на рис.1.

Все модули, показанные на рис.1 обмениваются информацией с центральной базой данных (на рисун-

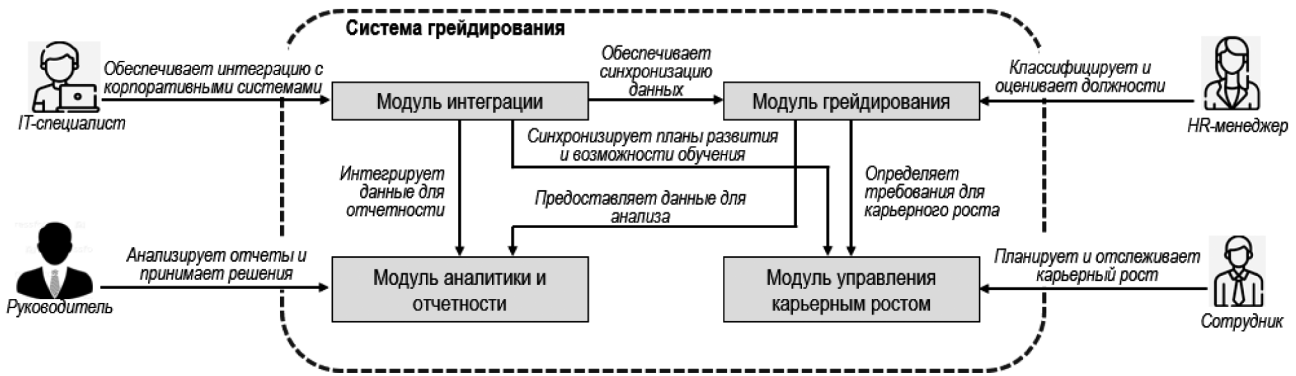


Рис. 1. Концептуальная модель системы грейдинга.

ке не показана), в которой хранится информация о всех сотрудниках предприятия, должностях, грейдах, критериях оценки и результатах оценок сотрудников.

В итоге, каждый из этих модулей способствует созданию комплексного и многофункционального инструмента, который делает систему грейдинга не просто инструментом оценки, а эффективным средством стратегического управления развитием организации.

2. Ключевые роли и их взаимодействие в системе

Администратор системы отвечает за техническую сторону: настройка, обновление, внедрение, обеспечение безопасности и поддержка всей системы грейдинга, целостности базы данных. Это включает в себя управление доступом, идентификацию пользователей, настройку интеграции с другими системами и решение технических проблем. Администратор является связующим звеном между возможностями системы и её пользователями, обеспечивая эффективное функционирование средств грейдинга в рамках организации.

HR-менеджер играет центральную роль в управлении процессами, связанными с грейдингом персонала. Ответственен за обучение и развитие, карьерный рост, а также оценку персонала согласно установленным критериям грейдинга. HR-менеджер использует систему для планирования и развертывания стратегий по управлению человеческими ресурсами, включая отбор, найм, мотивацию и удержание талантов.

Руководитель использует систему грейдинга для оценки эффективности работы сотрудников и потребностей в повышении квалификации. Он работает в тесном сотрудничестве с HR-менеджерами для определения карьерного роста сотрудников, планирования преемственности и разработки мотивационных мероприятий. Также непосредственно участвует в процессе грейдинга, предоставляя обратную связь и оценки производительности.

Сотрудник — непосредственный участник системы грейдинга. Ему предоставляются возможности для ознакомления с требованиями и ожиданиями относительно его текущего грейда и путей карьерного роста. Сотрудник активно участвует в процессе самооценки и получает отзывы об его производительности, что способствует его профессиональному развитию и мотивации. Взаимодействие с системой помогает ему понимать, какие шаги необходимы для достижения следующего уровня в своей карьерной лестнице.

3. UML-диаграмма действий по пересмотру грейда сотрудника

Диаграмма описывает процесс подачи запроса на пересмотр грейда сотрудником и последующие шаги обработки этого запроса в рамках системы (см. рис. 2).

Процесс начинается с того, что сотрудник подает запрос на пересмотр своего грейда. Далее происходит обработка запроса: запрос регистрируется в системе; выполняется уведомление HR-менеджера или руководителя о поданном запросе. Затем система определяет, соответствуют ли показатели запроса требованиям для повышения грейда. Если показатели соответствуют требованиям, инициируется процедура повышения грейда сотрудника. Если показатели не соответствуют требованиям, запрашивается дополнительная информация или назначается встреча с сотрудником для уточнения деталей. Далее сотрудник уведомляется о принятом решении по его запросу.

Таким образом, диаграмма представляет собой последовательный процесс обработки запросов на пересмотр грейда сотрудников, включающий в себя регистрацию запроса, оценку соответствия требованиям, уведомление заинтересованных сторон и улучшение алгоритмов для будущих рекомендаций.

В системе грейдинга также предусмотрен модуль автоматической выработки рекомендаций. Этот модуль анализирует данные о сотрудниках и их оценки по определенным критериям для предложения измене-

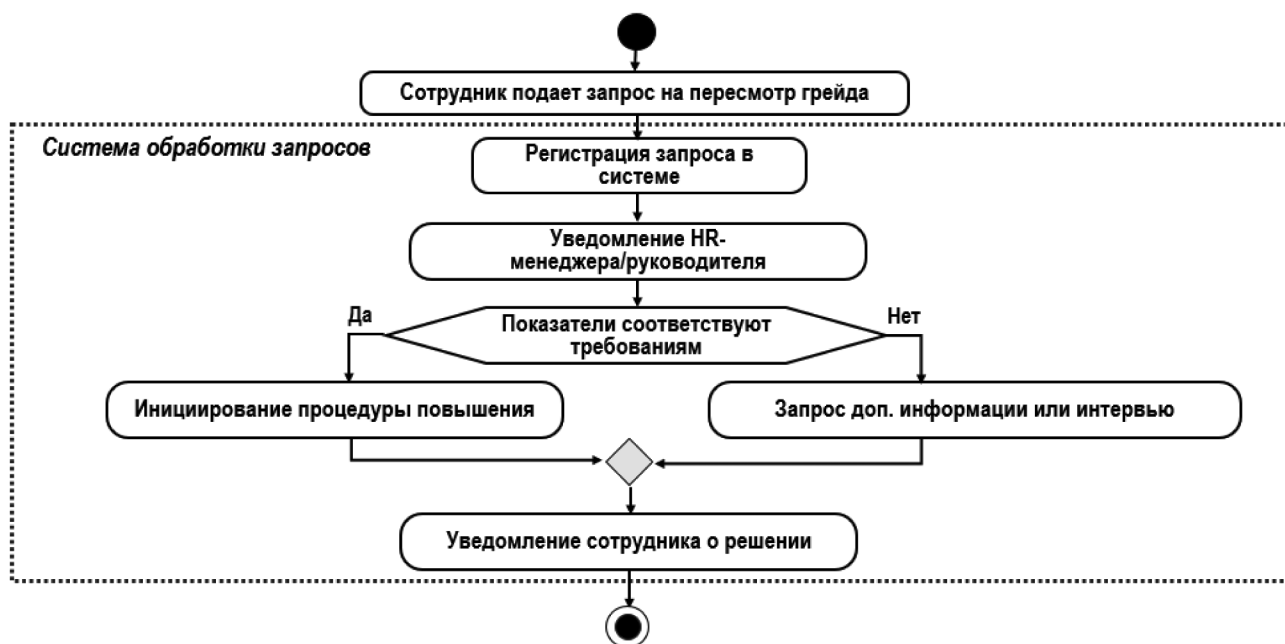


Рис. 2. UML-диаграмма действий по пересмотру грейда сотрудника

ний в грейдах. Основные шаги алгоритма работы этого модуля:

- Сбор данных: Агрегирование данных о сотрудниках, текущих грейдах и их оценках по установленным критериям.
- Анализ критериев: Определение соответствия сотрудников установленным требованиям для текущего и потенциального нового грейда.
- Набор правил грейдинга: Разработка набора правил или использование алгоритма машинного обучения, которые будут определять, достаточно ли хороши показатели сотрудника для предложения повышения.
- Вычисление рекомендаций: На основе анализа и правил грейдинга, система генерирует рекомендации по изменению грейда сотрудников.
- Проверка исключений: В системе предусмотрен учёт исключений и специфических случаев, которые могут требовать индивидуального рассмотрения.
- Отображение рекомендаций: Предоставление HR-менеджеру или руководителю предложений по изменению грейдов с детализацией рекомендаций. Имеется возможность ручной корректировки HR-менеджером и руководителем.

В этом модуле предусмотрена обратная связь от HR-специалистов для корректировки алгоритма и повышения точности рекомендаций.

4. Преимущества автоматизации процесса грейдинга

Автоматизация грейдинга критически важна для инновационных и исследовательских предприятий

с быстро меняющимися условиями, требующих гибкости в управлении персоналом. Автоматизация этого процесса позволяет:

- Оптимизировать управление талантами на основе точного и объективного оценивания компетенций сотрудников, что способствует более эффективной аллокации ресурсов и лучшему пониманию потребностей в обучении и развитии.
- Оперативно адаптировать структуры грейдов и заработные платы в соответствии с текущими требованиями и достижениями сотрудников.
- Повысить прозрачность и справедливость, минимизировать человеческий фактор и предвзятость в оценке, что способствует справедливому и открытому подходу к карьерному росту и вознаграждению.
- Улучшить стратегическое планирование за счет интеграции данных о грейдинге с другими HR-системами, что важно для стратегического планирования и прогнозирования будущих потребностей в навыках.

Выводы

Автоматизация грейдинга не только повышает эффективность управления человеческими ресурсами, но и является необходимым инструментом для поддержания конкурентоспособности предприятий в динамично развивающихся отраслях, таких как инновационные технологии и научные исследования.

Разработана концептуальная модель системы грейдинга, включающая 4 модуля: модуль грейдинга, модуль аналитики и отчетности, модуль управления

карьерным ростом и модуль интеграции. Описаны ключевые роли и варианты использования в этой системе.

Разработанная UML-диаграмма действий по пересмотру грейда сотрудника иллюстрирует процессный

подход в оценке и корректировке грейдов, что усиливает прозрачность и справедливость в оценке персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шураева Т.В. Оценка должности (рейтинг) — объективный и прозрачный инструмент определения ценности должности в структуре Организации // Экономика космоса. 2023. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-dolzhnosti-greyding-obektivnyy-i-prozrachnyy-instrument-opredeleniya-tsennosti-dolzhnosti-v-strukture-organizatsii> (дата обращения: 17.04.2024).
2. Jamali N, Sagirani T. Quality Assurance Testing to Improve the Quality of Human Resource Management System. Journal of Physics: Conference Series, 2021; 1918(4): 042139.

© Ковалева Анастасия Валерьевна (Ananeva@jinr.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ, КАК ОСНОВА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

DIGITAL DOUBLES AS THE BASIS OF OPERATION FUEL AND ENERGY COMPLEX

K. Kondratiev

Summary. This article discusses the issue of digital twins, with reference to the Russian fuel and energy complex. Various examples of existing developments related to digital twins are described. It is shown that for the Russian fuel and energy complex there are currently separate developments for the digitalization of the industry. The study showed that it is too early to talk about the holistic coverage of the Russian fuel and energy complex by the digitalization process, but work in this direction is actively underway.

Keywords: digital twins, fuel and energy complex, operation, control, diagnostics, technological process.

Кондратьев Кирилл Анатольевич

Аспирант, АНО ВО «Российский новый университет»
kirillko645@gmail.com

Аннотация. В данной статье рассматривается вопрос о цифровых двойниках, с привязкой к топливно-энергетическому комплексу России. Описаны различные примеры имеющихся разработок, связанных с цифровыми двойниками. Показано, что для топливно-энергетического комплекса России в настоящее время имеются отдельные наработки по цифровизации отрасли. Исследование показало, что о целостном охвате топливно-энергетического комплекса России процессом цифровизации говорить рано, но работы в этом направлении активно ведутся.

Ключевые слова: цифровые двойники, топливно-энергетический комплекс, эксплуатация, контроль, диагностика, технологический процесс.

Топливо-энергетический комплекс России (ТЭК) — одна из основных отраслей в экономике страны по стабильности, промышленному производству, занятости и по доходам в бюджет. Он обеспечивает энергобезопасность страны [1]. Развитие человеческого общества требует постоянно растущего потребления энергии (рост численности населения, наличие территорий с суровыми климатическими условиями, энергоёмкость производства). Высока роль топлива для научно-технического прогресса страны, так как топливо связано с проведением процессов автоматизации и механизации производства, его электрификацией и теплофикацией. Указанные процессы обуславливают значительный рост потребления топлива. Энергетика важна для укрепления позиций и на международном уровне. ТЭК присуща главная роль в обеспечении стабильной социальной сферы страны. Для России энергетика особенно важна, так как большая часть территории относится к северным территориям и необходимо использовать энергию на поддержание комфортных условий жизни и деятельности в таком климате. При значительной протяженности территории страны транспортные перевозки, пассажирские и грузовые, необходимо обеспечить топливом.

В структуре ТЭК присутствуют взаимосвязанные отрасли: топливная промышленность; электроэнергетика; транспортировка, хранение и распределение энергии и исходного сырья. ТЭК — это система, которая объединяет многочисленные производства и процессы, в том числе изготовление добывающего оборудования

для топливно-энергетических ресурсов, оборудования для их переработки, преобразования, распределения, а также доставки (транспортировки) потребителю. Такое многообразие производств и технологических процессов требует новых подходов в управлении процессами эксплуатации всех отраслей, составляющих ТЭК, на всех этапах их жизненного цикла от начала строительства до утилизации.

Таким подходом является внедрение и широкое использование цифровых двойников при проектировании объектов, в технологиях компьютерного моделирования и разработки новых материалов, при оптимизации технологических процессов и внедрении технологий аддитивного производства, при обработке больших объемов данных и облачных вычислениях, при использовании искусственного интеллекта. Ниже приведен обзор примеров использования цифровых двойников в различных областях деятельности ТЭК с небольшим уклоном в сторону энергетической составляющей отрасли.

В статье [2] рассмотрена история возникновения и развития понятия цифровых двойников. Даны существующие определения цифровых двойников, в качестве которых рассматриваются технология/совокупность технологий/продукт использования технологий; процесс или продукт использования процесса; перечни и значимость технологий для получения окончательного продукта. Показано, что в настоящее время в России уже существуют отдельные наработки по использованию цифровых двойников в различных высокотехно-

логичных отраслях народного хозяйства, таких как автомобилестроение, машиностроение, на предприятиях энергетического и топливного комплекса. Так в «Газпром нефти» создаются цифровые двойники скважин, заводов, производственных площадок и месторождений, в Росатоме разрабатывается цифровая атомная электростанция. Анализ публикационной активности в системе Scopus привел к выводу о том, что наряду с ключевыми словами «цифровой двойник» (Digital Twin) используются «Индустрия 4.0» (Industry 4.0), «киберфизические системы» (Cyber-Physical Systems), «умная фабрика» (Smart Factory), «численное моделирование» (Simulation), «большие данные» (Big Data), «интернет вещей» (Internet of Things) и «машинное обучение» (Machine Learning).

В посвященной цифровым двойникам статье [3] говорится о том, что они представляют собой технологию, которая объединяет облачные хранилища, Интернет вещей и машинное обучение. То есть для построения цифрового двойника и работы с ним необходимо большое пространство (облако). При этом большой объем данных обрабатывается с помощью технологии Edge Analytics. Цифровые двойники строятся как для отдельных деталей и единиц оборудования, так даже и для целых компаний.

Цифровые двойники подразделяются на единственный, составной и систему составных цифровых двойников (см. рисунок 1) [4].

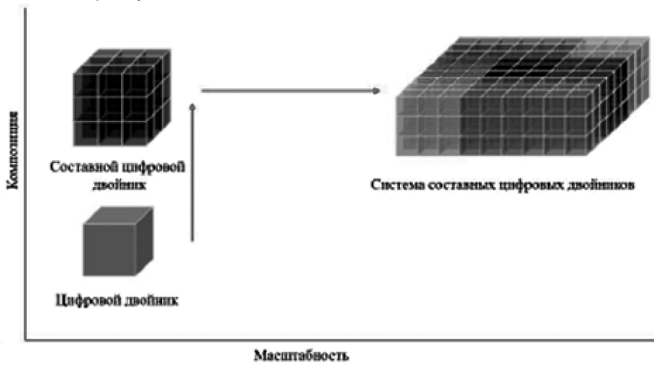


Рис. 1. Виды цифровых двойников

На рисунке 2 показан жизненный цикл цифрового двойника и соответствие его вида различным реальным объектам промышленности.

Среди основных трендов развития промышленности в мире выделяются рост сложности производственных процессов и использование технологии цифровых двойников. При этом речь идет о смещении процесса цифровизации технологий производства на этап проектирования конечного продукта и использовании при его отработке не реальных экспериментов с опытными образцами, а виртуальных испытаний с математическими моделями. За счет этого происходит обнаружение

ошибок проектирования на ранних этапах, сокращение времени разработки и уменьшение количества экспериментов. Все это положительно сказывается на цене конечного продукта [5].

В статье [6] рассматривается вопрос о системе распределительных сетей нового поколения — интеллектуальные сети Smart Grid. Основными требованиями к этим сетям являются гибкость, доступность, надежность и экономичность. Отмечено, что на данном этапе осуществления цифровизации энергетики вопрос об интеллектуальных сетях находится в стадии разработки и внедрения [6, 7]. Тем не менее крупными потребителями энергоресурсов (крупные предприятия) делаются определенные шаги в части организации интеллектуального учета, который включает в себя автоматический сбор, хранение и обработку информации. При этом получают пользу от такой формы учета и генерирующие компании, у которых появляются возможности отслеживать спрос на энергию, состояние потребителей и сетей (потери) и строить взаимоотношения с новыми потребителями. Авторы статьи [5] говорят о необходимости перехода от резервирования к риск-ориентированной модели управления при обеспечении надежности процессов управления. Это возможно только при переходе на цифровую экономику. Текущее состояние процесса цифровизации ТЭК проиллюстрировано на рисунке 3 [6].

Видно, что процесс внедрения цифровых технологий идет от электроэнергетических компаний к крупным компаниям-потребителям.

Для современного состояния существующих энергосистем характерны такие проблемы, как низкая надежность, высокая аварийность, недостаточная управляемость и т.п. Устранение этих проблем связано с внедрением в энергетику цифровых технологий. При этом авторы статьи [8] рассматривая вопрос о том, на ком должны лежать функции управления — на искусственном интеллекте или на человеке, отдают предпочтение человеку, хотя признают наличие группы специалистов, склоняющихся к первому варианту.

Внедрение цифровых технологий в энергетику позволит увеличить количество контролируемых параметров электрических сетей. При этом существует объективная необходимость замены мнемосхем (диспетчерских пультов) на киберфизическую 3D-модель, построенную с использованием технологии виртуальной реальности. В этой модели ландшафт и все оборудование (опоры, провода, кабели, генераторы, трансформаторы и прочее) будет иметь точную привязку к местности. Для иллюстрации на рисунке 4 показаны изображения подстанции с участком линии электропередачи (ЛЭП).



Рис. 2. Жизненный цикл цифровых двойников

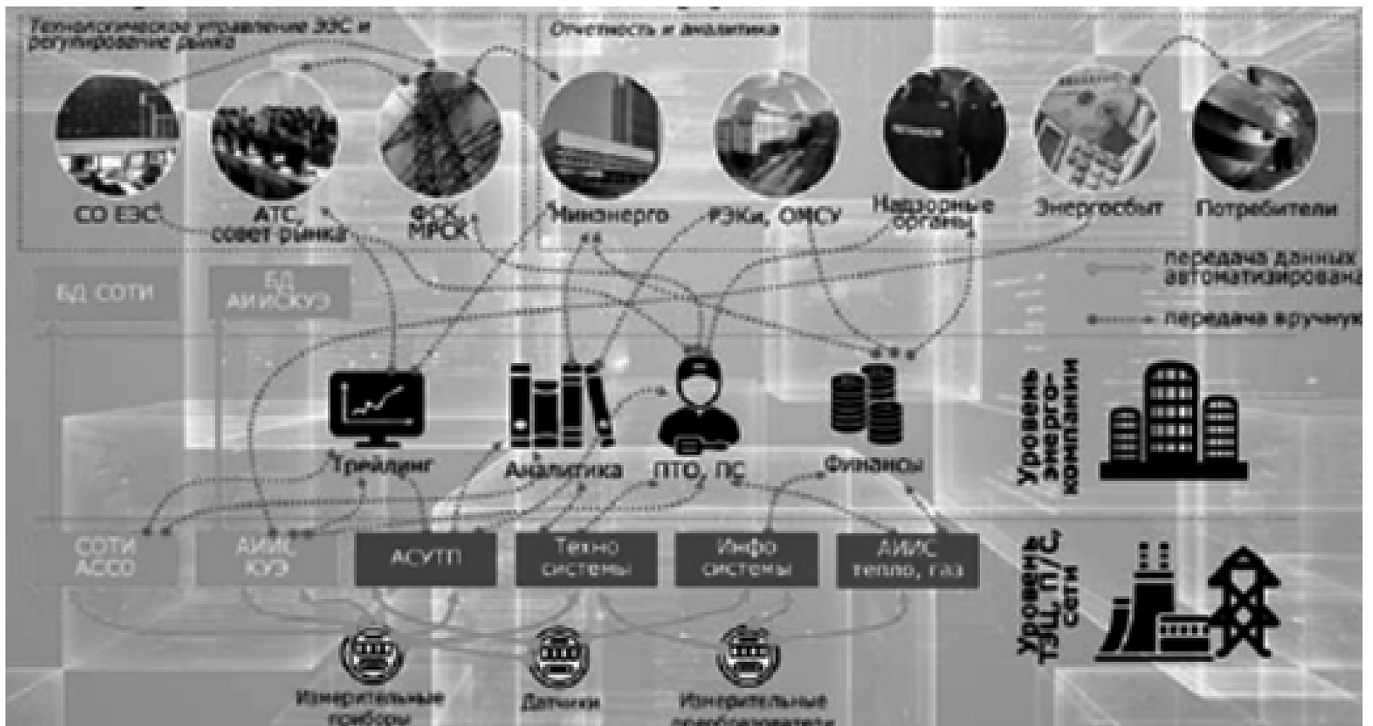


Рис. 3. Текущее состояние

Наличие такой модели позволит наглядно отслеживать состояние элементов электросети при воздействии различных климатических факторов (снег, дождь, ветер). При этом размещение датчиков не только на подстанциях, но и на опорах («цифровая опора»), позволит отслеживать в реальном времени пляску и обрыв проводов, вибрацию и падение опор. Передача информации диспетчеру может осуществляться по оптоволоконному кабелю, радиоканалу, через спутник или другим способом. Значительно расширяет объем и разнообразие информации использование видекамер, размещаемых на опорах.

В статье [9] рассматривается вопрос об обеспечении кибербезопасности предприятий ТЭК при их переходе на цифровые технологии. Определены перечни критического оборудования, выход из строя которого может привести к авариям, в том числе и с гибелью людей. Определены следующие меры для поддержания нормального функционирования жизненного цикла автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП):

- защита периметра;
- сегментирование сетей технологического контура;



Рис. 4. Изображение подстанции с участком ЛЭП

- резервирование технологических защит;
- реализация механизмов предотвращения несанкционированного изменения алгоритмов в контроллерах;
- использование всех доступных к применению штатных средств защиты на действующих и внедряемых АСУ ТП;
- импортозамещение.

В работе [10] затронут вопрос об эксплуатации «умных» скважин, то есть скважин, оборудованных большим количеством различных датчиков. Рассматривается выбор оптимального способа передачи информации с датчиков в базу данных. Особое внимание акцентируется на исследованиях сравнения времени чтения и записи данных. Показано, что наиболее предпочтительным является хранение замеров в виде файлов с последующей их передачей в базу данных.

Внедрение цифровых технологий в энергетике основано на реализации новых принципов управления энергетическим комплексом, что иллюстрирует таблица 1 [11].

- Приведены примеры цифровизации в ТЭК [11]:
- «Умное» месторождение — 29 месторождений и более 2000 цифровых скважин.
 - Система прогнозирования остаточного ресурса энергетического оборудования (холдинг Ростек).
 - Система анализа информационных потоков о полном цикле движения продукта вплоть до сведе-

Таблица 1
Сравнение существующей и цифровой модели управления энергетикой

| Существующая модель | | Цифровая модель |
|--|---|---|
| Использование углеводородного топлива | ⇒ | Использование альтернативных источников, децентрализация производства энергии |
| Преобладают компании, занимающиеся добычей и переработкой сырья | ⇒ | Частные инвестиции и децентрализованные рынки |
| Централизованные энергетические сети | ⇒ | Цифровая инфраструктура, «умные» электросети |
| Поток энергии «генератор — потребитель» | ⇒ | «Активный» потребитель, регулирующий свои потребности на генерирующем оборудовании |
| Одновременное производство и потребление электроэнергии | ⇒ | Рост эффективности использования электроэнергии и развитие технологий ее накопления |
| Использование углеводородного топлива в промышленности и на транспорте | ⇒ | Электрификация промышленности и транспорта |

ний о продажах и взаимодействии с потребителем (компания Газпромнефть).

- Расчетная модель сети для оценки надежности существующих систем и сетей.



Рис. 5. Цифровой двойник солнечной электростанции

В статье [12] рассматривается использование фрактального подхода при выполнении онтологического инжиниринга для построения цифровых двойников. С помощью данного подхода построены цифровые двойники солнечной электростанции (см. рисунок 5) и топливно-энергетического комплекса.

Одним из применений цифровых двойников является их использование при проектировании и строительстве зданий [13]. Для этих целей используется информационное моделирование зданий или BIM-технология (Building Information Modeling). Помимо графической части проектирования (3D) в цифровых моделях (BIM-моделях) содержится вся информация о характеристиках конструкций, инженерных системах и используемого оборудования. Это позволяет осуществлять отслеживание процесса строительства в реальном времени (4D), учитывать изменение стоимостных показателей во времени (5D) и проводить анализ параметров здания при эксплуатации (6D). На рисунке 6 показано здание, спроектированное специалистами ПАО «Орелстрой» с помощью BIM-технологии в программе Autodesk Revit за 4 месяца. Здание введено в эксплуатацию в 2023 году, то есть при значительной экономии времени.

В статье [14] описаны результаты численного моделирования процесса распространения магистральной трещины в трубопроводе при действии внутреннего давления газа. Для различных марок сталей численно исследован процесс образования и распространения протяженной трещины. Определены форма трещины, утонение стенки трубы по краям трещины, а также скорость распространения трещины. На рисунке 7 проил-



Рис. 6. Здание, спроектированное с использованием BIM-технологии

люстрированы формы трещины, полученные при расчете (численный эксперимент с цифровым двойником трубопровода) и в результате прямого эксперимента.

Видно, что расчетная и реальная формы разрушения трубопровода совпадают.

Достаточно большое количество публикаций описывают примеры использования цифровых двойников для проектирования отдельных деталей или узлов машин, эксплуатируемых на предприятиях ТЭК. Так, в работе [15] даны краткие описания разработки цифрового двойника вибросита для системы очистки бурового раствора

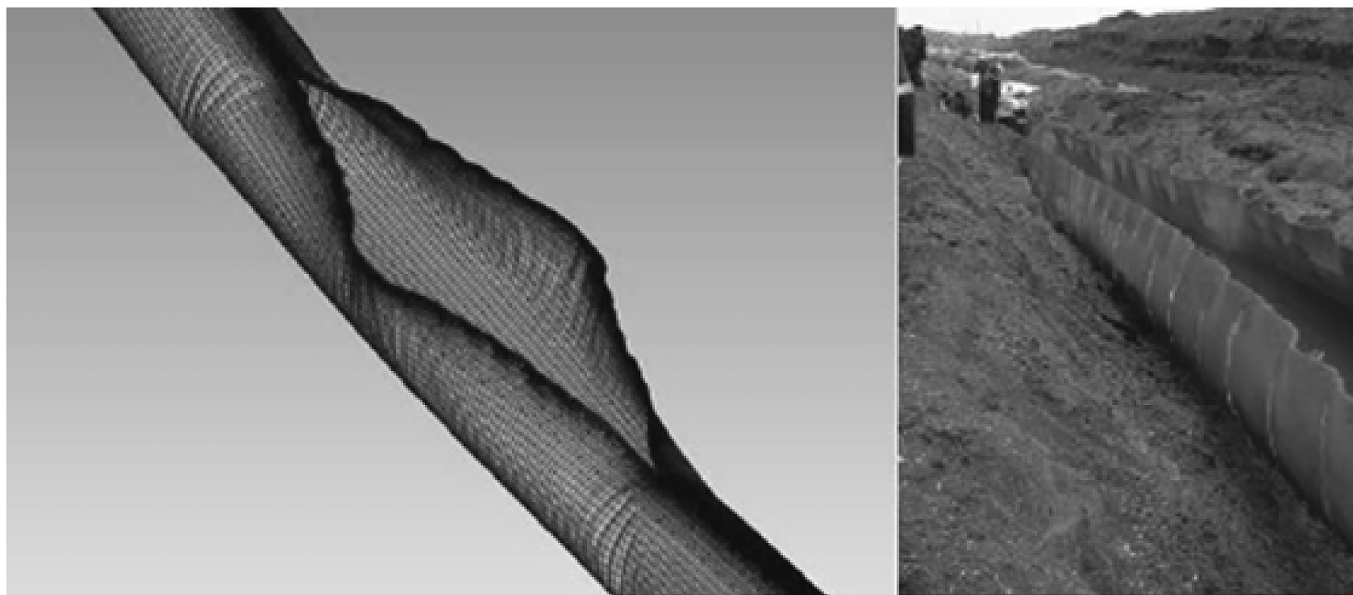


Рис. 7. Форма магистральной трещины в трубопроводе

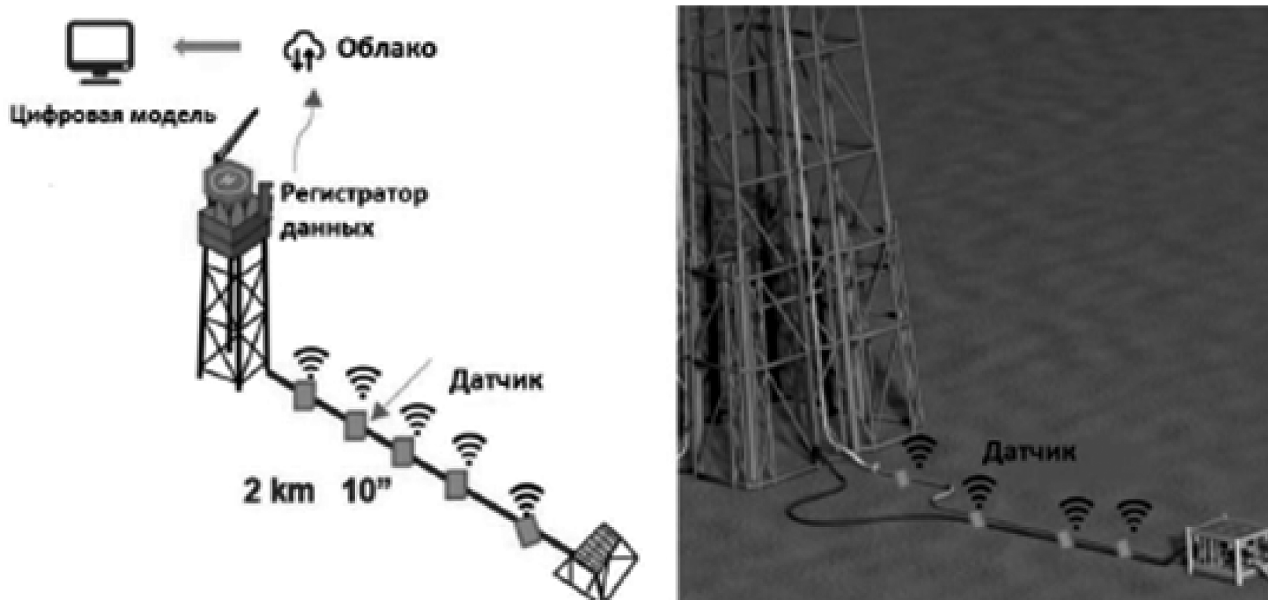


Рис. 8. Цифровой двойник трубопровода

и виртуальных испытательных полигонов. В статье [16] говорится о том, что в Санкт-Петербурге к концу 2023 года будут установлены на изношенные трубопроводы 488 датчиков в дополнение к уже к действующим 1846 датчикам. Это позволит охватить подземным контролем трубопроводов территорию радиусом до 600 км.

В статье [3] говорится о работах, проводимых ПАО «Газпром нефть», где переход на цифровые технологии считается приоритетным направлением деятельности с 2018 года. Осуществленные разработки цифровых двойников скважин, месторождений и заводов позволяют тестировать различные варианты организации добычи нефти и газа без рисков для людей и объектов. В ПАО «Сибур Холдинг» (нефтехимическая промышленность)

ведутся активные работы по созданию цифровых двойников для их использования в системах управления, моделирования технологических и производственных процессов и в логистике [3].

В статье [3] без конкретных примеров дан небольшой объем информации по использованию цифровых двойников в строительстве. В основном речь идет о контроле электричества, водных и тепловых ресурсов.

Примеры разработок цифровых двойников различных видов описаны в работе [4]. Приведены примеры цифрового месторождения нефти, цифровой морской платформы (с использованием технологии нефтегазового интернета вещей PloT), цифровой технологии бу-

рения. Для создания цифрового двойника подводных трубопроводов использовалась облачная платформа «Цифровой двойник месторождения». Весь необходимый комплекс расчетов был выполнен с помощью веб-графического интерфейса — GUI. На рисунке 8 показана схема размещения датчиков на трубопроводе и передачи данных, разработанная с использованием цифрового двойника.

Приведенный обзор материалов, опубликованный в периодической технической печати, показал, что работы по цифровизации ТЭК России ведутся. По большей части они касаются решения частных, конкретных задач. В то же время вопросы общего характера, имеющие стратегический уровень, практически не решаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильева, В.Д. Топливо-энергетический комплекс России: проблемы и перспективы развития [Текст] / В.Д. Васильева // Научное обозрение. — 2019. — № 2-2. — С. 26–31.
2. Боровиков, А.И. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности. [Краткий доклад] / А.И. Боровиков, А.А. Гамзикова, К.В. Кукушкин, Ю.А. Рябов. — СПб.: Политех-Пресс, 2019. — 62 с.
3. Курганова, Н.В. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства [Текст] / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев, А.Г. Шаплеин, Д.Е. Намиот // International Journal of Open Information Technologies. — 2019. — Vol. 7. — № 5. — Рр. 105–115.
4. Быкова, В.Н. Применение цифрового двойника в нефтегазовой отрасли [Текст] / В.Н. Быкова, Е. Ким, М.Р. Гаджиалиев [и др.] // Актуальные проблемы нефти и газа. — 2020. — Вып. 1(28). — С. 1-11. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-28.art8> (дата обращения 29.03.2024).
5. Бурцев, Д.С. Инфраструктура и ресурсное обеспечение цифровой экономики [Текст] / Д.С. Бурцев, Е.С. Гаврилюк, А.Г. Изотова, А.С. Лебедева, И.Н. Леонтьева, Н.А. Литвинова, Е.Н. Кан, Ф.Э. Сатторов. — СПб: Университет ИТМО, 2021. — 190 с.
6. Сагитова, Т.М. Цифровая энергетика как элемент цифровой экономики [Текст] / Т.М. Сагитова, Л.А. Исмагилова // Материалы Региональной научной конференции-школы для молодежи «Инновационная экономика». — Уфа: РИК УГАТУ, 2018. — 385 с.
7. Кадирова, А.Т. Внедрение интеллектуальной сети Smart Grid [Текст] / А.Т. Кадирова // Материалы национальной (с международным участием) науч.-практ. конф. «Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы» (Казань, 19-20 мая 2022 г.). Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2022. — 394 с.
8. Шпиганович, А.Н. Пути развития цифровой энергетике [Текст] / А.Н. Шпиганович, А.А. Шпиганович, К.А. Пушница // Известия ТулГУ. Технические науки. — 2019. — Вып. 11. — С. 61–70.
9. Исмагилов, И.Р. Кибербезопасность объектов ТЭК: угрозы и меры защиты [Текст] / И.Р. Исмагилов // Материалы национальной (с международным участием) науч.-практ. конф. «Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы» (Казань, 19-20 мая 2022 г.). Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2022. — 394 с.
10. Халимов, А.А. Выбор оптимального способа передачи информации с датчиков из «умных» скважин в базу данных [Текст] / А.А. Халимов, М.А. Сафин // Материалы национальной (с международным участием) науч.-практ. конф. «Современные цифровые технологии: проблемы, решения, перспективы» (Казань, 19-20 мая 2022 г.). Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. — Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2022. — 394 с.
11. Трейман, М.Г. Энергоменеджмент. Использование информационных и цифровых технологий в энергоменеджменте [Текст] / М.Г. Трейман. — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2023. — 58 с.
12. Массель, Л.В. Семантическое моделирование при построении цифровых двойников энергетических объектов и систем [Текст] / Л.В. Массель, А.Г. Массель // Онтология проектирования. — 2023. — Т. 13. — №1(47). — С.44–54. DOI: 10.18287/2223-9537-2023-13-1-44-54.
13. Шевцова, А.В. Применение BIM-технологий в проектировании и строительстве [Текст] / А.В. Шевцова // Материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов, ученых и специалистов «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе» (20–22 декабря 2022 г.). В 2-х т. Т. 1 / Отв. ред. А.Н. Халин. — Тюмень: ТИУ, 2022. — 306 с.
14. Барсуков, А.А. Цифровой двойник динамического разрушения линейной части магистральных газопроводов из высокопрочных и вязких сталей [Текст] / А.А. Барсуков, Г.Х. Мурзаханов, В.Я. Великоднев // Актуальные проблемы развития нефтегазового комплекса России: XV Всероссийская научно-техническая конференция: сборник трудов / отв. ред. В.Г. Мартынов; ред. А.Ф. Максименко, А.Н. Комков. — М.: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2022. — 584 с.
15. Боровиков, А.И. Цифровые двойники в нефтегазовом машиностроении [Текст] / А.И. Боровиков, Ю.А. Рябов, А.А. Гамзикова // Neftegaz.RU. — 2020. — №6. — С. 30–37.
16. Высокотехнологичная акустическая диагностика в ТЭК охватит свыше 600 км сетей / ТЭК Санкт-Петербурга [Электронный ресурс] URL: <https://www.gptek.spb.ru/press/news/vysokotekhnologichnaya-akusticheskaya-diagnostika-v-tek-okhvatit-svyshe-600-km-setey-/?ysclid=lu9j8842v578562574> (дата обращения 27.03.2024).

© Кондратьев Кирилл Анатольевич (kirillko645@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ WEB-ПРИЛОЖЕНИЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ МЕЛАНОМЫ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМА ШТОЛЬЦА

Коробкова Тамара Александровна

Преподаватель, ФГБОУ ВО Самарский государственный медицинский университет Минздрава России; аспирант, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева»

DESIGNING A WEB APPLICATION FOR EXPRESS DIAGNOSTICS OF MELANOMA BASED ON THE STOLZ ALGORITHM

T. Korobkova

Summary. The article discusses the process of designing a web application for express diagnosis of melanoma using computer vision algorithms and a neural classifier. Based on the dermatoscopic method for determining V. Stolz's melanoma, an image with a skin neoplasm is pre-processed: a neoplasm is highlighted in the image; parameters for Stolz's formula and a total dermatoscopic score are calculated, according to which a preliminary diagnosis is calculated. Next, the optimization problem is solved to clarify the boundaries of the areas of differentiation of neoplasms and adjust the coefficients of the Stolz formula, a balanced set for training a neural network is generated. Based on the obtained parameter values, a trained neural network (multilayer perceptron) classifies the neoplasm as benign or melanoma. The approbation was carried out on two data sets, one of which is balanced. During testing, the average accuracy of the algorithm on two independent datasets is 86 %.

Keywords: melanoma, Stolz algorithm, computer vision in medicine, multilayer perceptron, diagnosis of skin tumors, ABCD rule, melanoma diagnostic app.

Аннотация. В статье рассматривается процесс проектирования web-приложения экспресс-диагностики меланомы с помощью алгоритмов компьютерного зрения и нейронного классификатора. На основе дерматоскопического метода определения меланомы В. Штольца изображение с кожным новообразованием предварительно обрабатывается: выделяется новообразование на изображении; рассчитываются параметры для формулы Штольца и общий дерматоскопический балл, по которому вычисляется предварительный диагноз. Далее решается задача оптимизации для уточнения границ областей дифференциации новообразований и корректировка коэффициентов формулы Штольца, генерируется сбалансированный набор для обучения нейронной сети. По полученным значениям параметров обученная нейронная сеть (многослойный перцептрон) классифицирует новообразование как доброкачественное или меланому. Апробация проводилась на двух наборах данных, один из которых является сбалансированным. При проведении испытаний средняя точность алгоритма на двух независимых наборах данных составляет 86 %.

Ключевые слова: меланомы, алгоритм Штольца, компьютерное зрение в медицине, многослойный перцептрон, диагностика кожных новообразований, правило ABCD, приложение для диагностики меланомы.

Введение

Российскими учеными и разработчиками программного обеспечения создаются различные web и мобильные приложения для диагностики кожных новообразований, предлагаются различные алгоритмы для прототипов систем диагностики, например, мобильное приложение «Про родинки» (Нижний Новгород) [10], в работах [5] и [6] предложены варианты экспериментальных образцов мобильных систем скрининга пигментных новообразований кожи при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

Для проектирования своего web-приложения экспресс-диагностики «MelanomaDiagnosisRT» в основу был положен алгоритм ABCD для диагностики меланомы, предложенный Р.Фридманом в 1985 году. Этот алгоритм оценивает пигментные образования кожи по четырем параметрам: асимметрия (A), неровные границы (B), неравномерность окраски (C) и диаметр более 6 мм (D)

[15]. Сумма произведений факторов веса и относительных единиц каждого признака можно определяет общее количество баллов (TDS — total dermoscopy score): $TDS = (A * 1.3) + (B * 0.1) + (C * 0.5) + (D * 0.5)$. Интерпретация величины общего дерматоскопического балла приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Интерпретация значения общего дерматоскопического балла

| TDS | Интерпретация |
|-----------|--|
| <4,75 | Доброкачественные меланоцитарные новообразования; |
| 4,75–5,45 | Подозрительные новообразования |
| >5,45 | Новообразования с высоким подозрением на меланому; |

Цель и дизайн исследования

Целью исследования является разработка web-приложения и уникального алгоритма для эффективной классификации меланомы на изображениях.

Разработка web-приложения включает в себя 2 этапа: разработка алгоритма классификации по изображению и разработка web-приложения.

Разработка алгоритма классификации по изображению включает в себя следующие этапы: выделение новообразования на изображении; расчет параметров для формулы Штольца; расчет TDS (вычисление диагноза); решение задачи оптимизации для уточнения границ областей дифференциации новообразований и корректировка коэффициентов формулы Штольца; генерация сбалансированного набора для обучения нейронной сети; классификация нейронной сетью двух наборов изображений по параметрам Штольца; постановка диагноза.

Данные для исследования

Все операции по работе с изображениями реализованы с помощью алгоритмов компьютерного зрения и библиотеки с открытым исходным кодом OpenCV [12]. Набор данных для разработки и апробации предлагаемых методов состоит из 127 фотографий (62 изображения меланомы, 65 — доброкачественные новообразования), сделанных в ГБУЗ «Самарский областной клинический онкологический диспансер» (далее — СамараОнко) и набора The Human Against Machine with 10000 training images (HAM10000) включающим в себя 10015 изображений (меланома — 1113 изображений, другие заболевания — 8902 изображения).

Выделение новообразований на изображениях

К каждому изображению из наборов применялись поочередно 12 предложенных методов, с перебором порогового значения от 10 до 180 с шагом 10. Целью проведенной работы было максимально точное выделение объекта-новообразования для дальнейшего исследования.

1. Выделение контура новообразования из исходного изображения по пороговому значению.
2. Выделение контура новообразования из исходного изображения методом Canny (при пороговых значениях $minVal=80$, $maxVal=200$).
3. Удаление фона изображения с помощью морфологических операций дилатации и эрозии, выделение контура по пороговому значению.
4. Удаление фона изображения с помощью морфологических операций дилатации и эрозии, выделение контура методом Canny;
5. Цветовая сегментация с применением морфологических операций (операция закрытия), выделение контура по пороговому значению;
6. Цветовая сегментация с применением морфологических операций (операция закрытия), выделение контура методом Canny;

7. Цветовая сегментация с применением морфологических операций (на основе предположения диапазона оттенков объекта и фона MIN-MAX), выделение контура по пороговому значению;
8. Цветовая сегментация с применением морфологических операций (на основе предположения диапазона оттенков объекта и фона MIN-MAX), выделение контура методом Canny;
9. Применение билатерального фильтра с последующим выделением контура новообразования из исходного изображения по пороговому значению;
10. Применение билатерального фильтра с последующим выделением контура новообразования из исходного изображения методом Canny;
11. Повышение резкости изображения с последующим выделением контура новообразования по пороговому значению;
12. Повышение резкости изображения с последующим выделением контура новообразования методом Canny.

Результаты работы алгоритма приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты работы алгоритма выделения новообразований на изображении

| | НАМ 10000 (ед.) | СамОнко (ед.) |
|---------------------------------------|--------------------|------------------|
| Общее количество изображений в наборе | 10015 | 127 |
| Ошибка выделения на всем наборе | 291 (2,9 %) | 3 (2,36 %) |
| Ошибка по нозологии меланома | 31 (2,78 %) | 2 (3,2 %) |

В ходе апробации предложенной методики выделения объектов по фото было отбраковано менее 3 % от общего числа изображений по причине несоответствия установленным требованиям. А именно, новообразование на фото было слишком маленьким и занимало менее 5 % площади, либо слишком большим и соприкасалось с границами изображения, либо располагалось не по центру фото, либо небольшое контрастное значение между поверхностью кожи и новообразованием.

Вычисление признаков алгоритма Штольца и расчет TDS

После выделения новообразования на изображении выполнено вычисление признаков и расчет TDS.

A — асимметрия. Максимальная цена критерия = 2, предполагается отсутствие симметрии по обеим осям. Экспериментальным путем установлен порог допустимой погрешности 5 %:

Симметрия относительно оси x:

$$\frac{|AB - DC|}{AB + DC} * 100\% < 5\%; \tag{1}$$

Симметрия относительно оси y:

$$\frac{|AD - BC|}{AD + BC} * 100\% < 5\%; \tag{2}$$

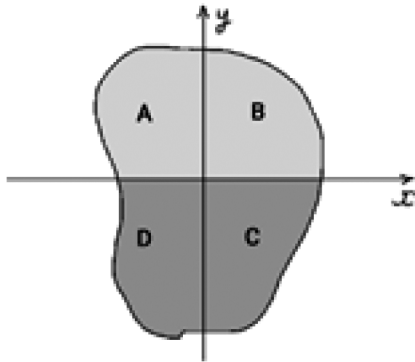


Рис. 1. Расчет симметричности новообразования

B — границы. Максимальная цена критерия = 8. Через точки максимума и минимума ($x_{max}, x_{min}, y_{max}, y_{min}$) проведем 4 прямые, параллельные осям координат. Точки пересечения этих прямых с осями будут вершинами вписанного в построенный прямоугольник эллипса.

I_d — разница длин контуров рассчитывается как отношение разности длины контура эллипса (I_{el}) и контура выделенного объекта (I_{con}) к длине контура эллипса:

$$I_d = \frac{|I_{el} - I_{con}|}{I_{el}}. \tag{3}$$

Экспериментальным путем (для наборов HAM1000 и СамараОнко) были получены максимальная (I_{dmax}) и минимальная (I_{dmin}) разница длин контуров. Полученный диапазон разделим на 8 равных участков, значение I_d будет попадать в один из таких участков, порядковый

номер которого будет соответствовать значению критерия *B*.

C — распределение цвета. Максимальная цена критерия = 6. Значения оттенка в OpenCV варьируются от 0 до 179. Условно палитра разделяется на отдельные группы оттенков, по 10 единиц на каждую группу. Если при подсчете цветов их оказалось более 6 или 6, то критерий *C* имеет максимальное значение — 6 баллов. Если цветов менее 6, то за наличие в наборе цвета добавляется по одному баллу к критерию *C*. Мультиколерность меланомы часто является одним из признаков, на которые врачи обращают внимание при дерматологическом осмотре или оценке образований на коже.

D — дерматоскопические структуры. Максимальная цена критерия = 5. Для анализа и оценки паттернов выделенного объекта необходимо найти цвета, соответствующие дерматоскопическим структурам злокачественных новообразований. С помощью масок определяются следующие цвета: черный (черные точки по периферии); коричневый, от светло-коричневого до темно-коричневого; голубой (бело-голубая пелена); серый (множественные голубые и серые точки); белый.

Таблица 3.

Результаты классификации по TDS наборов HAM10000 и СамараОнко

| | HAM10000 (ед.) | HAM10000 (%) | Самара Онко (ед.) | Самара Онко (%) |
|----------------------------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------|
| Всего случаев | 9724 | 100 | 124 | 100 |
| Правильно рассчитанные случаи | 5236 | 53,84 | 73 | 58,87 |
| Подозрительные случаи | 3150 | 32,39 | 29 | 23,39 |
| Неверно спрогнозированные случаи | 1338 | 13,76 | 16 | 12,9 |

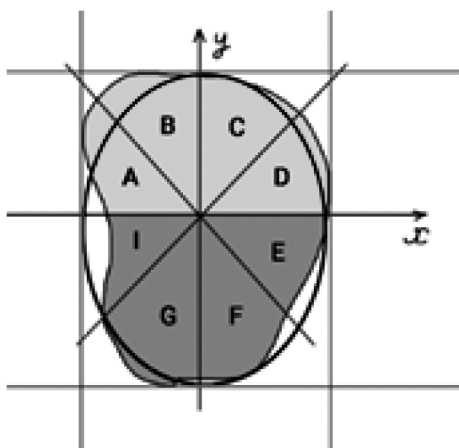


Рис. 2. Расчет количества сегментов новообразования с четким контуром

Наличие более 200 точек цвета добавляет к критерию 1 балл. Значение 200 было получено в ходе проведенных экспериментов и является минимально достаточным для утверждения наличия признака.

При подсчете метрик значения, попавшие в подозрительный диапазон, следует относить к правильным, так как они являются гипердиагностикой. Результаты классификации представлены в таблице 3.

Оптимизация границ по алгоритму Штольца и генерация набора для обучения нейронного классификатора

В целях оптимизации алгоритма было выполнено уточнение коэффициентов и границ по набору СамараОнко. Исходя из того, что сдвиг границ к центру, т.е. сокращение диапазона подозрительных новообразований приведет к увеличению числа ошибок, а расширение диапазона хотя и даст улучшение метрик, приведет к увеличению изображений, классифицируемых как подозрительные, было установлено ограничение на количество определения подозрительных новообразований (Δ_{unk}) — не более 25 %, шаг смещения границы 1 % от фактора веса, количество смещений (n_{step}) = 6.

Таким образом, при максимальном значении точности представим полученные по набору СамараОнко данные как функцию (F_1) нескольких переменных:

$$F_1 = \max_{pre} (F(q_1, q_2, k_a, k_b, k_c, k_d)) \quad (4)$$

q_1 — верхняя граница доброкачественного новообразования;

q_2 — нижняя граница злокачественного новообразования;

k_a, k_b, k_c, k_d — коэффициенты (факторы веса) критериев по Штольцу.

В результате из 531441 комбинации был выбран вариант с наибольшим значением точности и высокой чувствительностью, где $q_1 = q_2 = 4,785$; $k_a = 1,339$; $k_b = 0,101$; $k_c = 0,52$; $k_d = 0,52$.

На основе полученных границ и коэффициентов сгенерирован сбалансированный набор данных, равное количество доброкачественных новообразований и меланом, представляющий собой числовой набор параметров ABCD и бинарную отметку принадлежности к классу.

Классификация заболевания нейронной сетью по критериям Штольца

Обученной нейронной сетью были классифицированы рассчитанные параметры новообразований из на-

боров HAM10000 и СамараОнко. В качестве классификатора был взят многослойный перцептрон. Результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Результаты диагностирования нейронной сетью по критериям Штольца наборов HAM10000 и СамараОнко

| | HAM 10000 (ед.) | HAM 10000 (%) | Самара-Онко (ед.) | Самара-Онко (%) |
|------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Всего случаев | 9724 | 100 | 124 | 100 |
| Правильно спрогнозированные случаи | 8475 | 87,16 | 106 | 85,48 |
| Меланома (верно/всего) | 958/1082 | 88,54 | 57/60 | 95 |

Оценка качества модели

Для оценки используемого нейронного классификатора использованы наиболее популярные характеристики, такие как матрица ошибок, точность модели, полнота, чувствительность и специфичность, рассчитаны доля правильных ответов и взвешенное гармоническое среднее полноты и точности. Результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Характеристики оценки модели нейронного классификатора

| | HAM10000 | СамараОнко |
|--|----------|------------|
| Истинно положительные результаты (TP) | 958 | 57 |
| Ложноотрицательные результаты (FN) | 124 | 3 |
| Истинно отрицательные результаты (TN) | 7517 | 49 |
| Ложноположительные результаты (FP) | 1125 | 15 |
| Точность (Pre) (%) | 45,99 | 79,16 |
| Полнота (Recall) (%) | 88,54 | 95 |
| Чувствительность (Se) (%) | 88,54 | 95 |
| Специфичность (Sp) (%) | 86,98 | 76,52 |
| Доля правильных ответов алгоритма (accuracy) | 87,16 | 85,48 |
| F-мера | 75,95 | 86,35 |

Разработка web-приложения

Web-приложение построено с использованием серверов и состоит из клиентской части и серверной частей.

Серверная часть, включает в себя обработку изображений, модель нейронной сети, реализована на языке Java, с использованием библиотеки для работы с компьютерным зрением OpenCV и платформы Neugorph, библиотека с открытым исходным кодом под лицензией Apache 2.0.

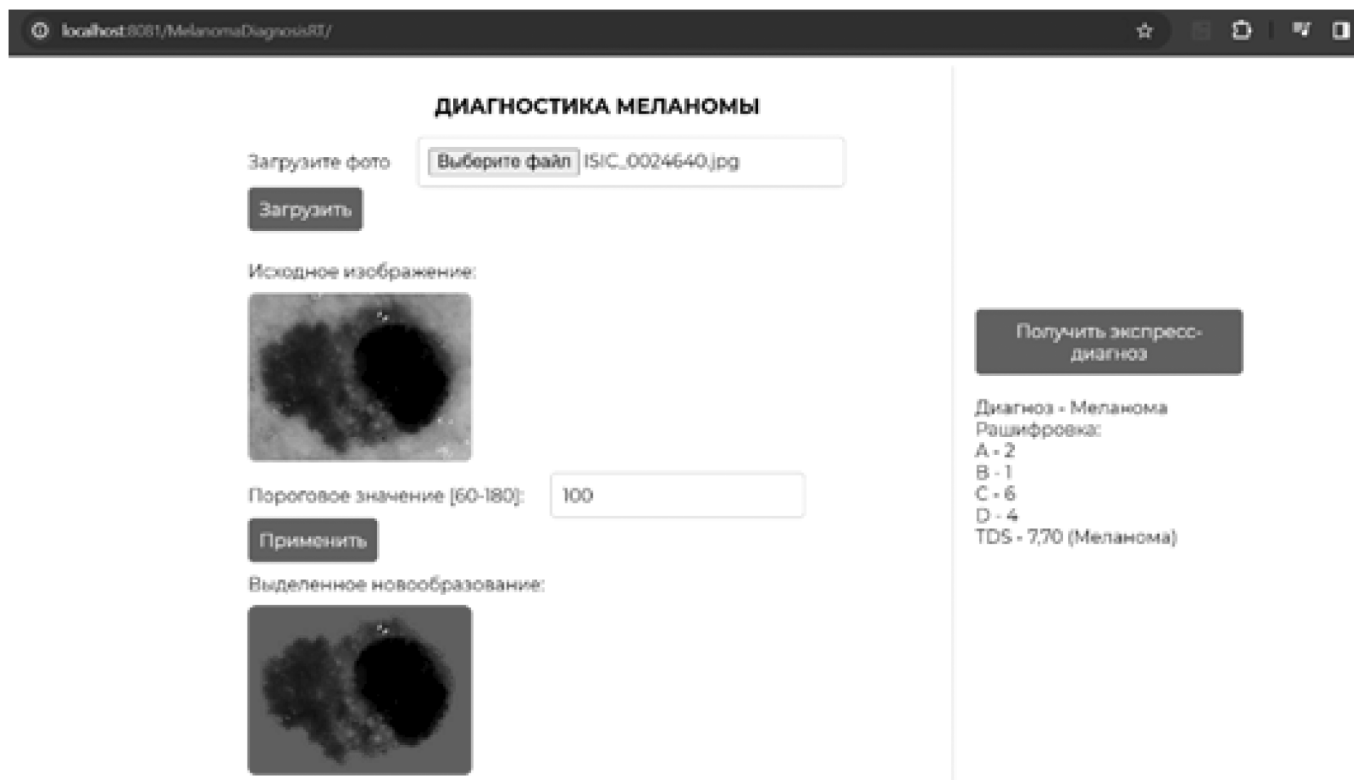


Рис. 3. Интерфейс приложения

Интерфейс приложения представлен на рисунке 3, содержит область загрузки изображения, область выбора порогового значения и поле просмотра выделяемого изображения, область с диагнозом.

Заключение

Разработанное web-приложение прежде всего основано на медицинском диагностическом алгоритме и берет за основу «оцифровку» визуального осмотра больного, при этом анализ изображения составляет пару секунд.

Предлагаемый алгоритм автоматизированной диагностики меланомы на основе дерматоскопического метода Штольца показал хорошие результаты на реальных наборах изображений. Пониженная точность модели на наборе NAM10000 обусловлена несбалансированностью классов (соотношение классов 1 к 9).

Высокое значение F-меры указывает на хороший баланс между чувствительностью и специфичностью модели, модель склонна лучше обнаруживать меланомы — истинно положительные случаи (TP). Высокая чувствительность является желательной в задачах, где снижение ложноотрицательных результатов (пропущенных положительных случаев) критически важно, даже за счет увеличения числа ошибок первого рода.

Полнота модели составила 88,54 % и 95 % и говорит о том, что в модели минимизированы случаи пропусков заболевания.

Web-приложение экспресс-диагностики меланомы «MelanomaDiagnosisRT», описанное в статье, было зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 15 марта 2024 г. № 2024616064 и внедрено в учебный процесс в ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России на кафедре медицинской физики, математики и информатики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаранина О.Е., Самойленко И.В., Шлишко И.Л., Клеменова И.А., Незнахина М.С., Демидов Л.В. Неинвазивные методы диагностики опухолей кожи и их потенциал применения для скрининга меланомы кожи: систематический обзор литературы. Медицинский совет. 2020;(9):102–120. doi: 10.21518/2079-701X-2020-9-102-120.
2. Гаранина О.Е., Шлишко И.Л., Клеменова И.А., Ускова К.А., Миронычева А.М., Дардык В.И., Ласьков В.Н. Искусственный интеллект: как работает и критерии оценки // Consilium Medicum. 2021. №8. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/iskusstvennyy-intellekt-kak-rabotaet-i-kriterii-otsenki> (дата обращения: 07.12.2023).

3. Гаврилов Д.А., Закиров Э.И., Гамеева Е.В., Семенов В.Ю., Александрова О.Ю. Автоматизированная диагностика меланомы кожи на основе математической модели искусственной сверточной нейронной сети. *Research'nPracticalMedicine Journal*. 2018;5(3):110–116. <https://doi.org/10.17709/2409-2231-2018-5-3-11>
4. Козачок А.В., Спирин А.А., Козачок Е.С. Обзор методов раннего обнаружения меланомы. *Труды ИСП РАН*, том 34, вып. 4, 2022 г., стр. 241–250. 10.15514/ISPRAS-2022-34(4)-17
5. Кудрин К.Г., Римская Е.Н., Аполлонова И.А., Николаев А.П., Черномырдин Н.В., Святославов Д.С., Давыдов Д.В., Решетов И.В. Ранняя диагностика меланомы кожи с применением нескольких изображающих систем // *Оптика и спектроскопия*. — 2020. — том 128. — вып. 6 DOI:10.21883/OS.2020.06.49416.53–20
6. Ляхов П.А. Система нейросетевой классификации пигментных новообразований кожи с предварительным удалением волос на фотографиях / П.А. Ляхов, У.А. Ляхова // *Компьютерная оптика*. — 2021. — Т. 45, № 5. — С. 728–735. — DOI: 10.18287/2412-6179-CO-863.
7. Минкина О.В., Дворников А.С., Скрипкина П.А., Оганесян Л.В., Палагина В.С., Иванова К.С. Новообразования кожи: современные представления о неинвазивных возможностях и перспективах диагностики. *Профилактическая медицина*. — 2020; — 23(6): Вып. 1:120–128. <https://doi.org/10.17116/profmed202023061120>
8. Мошкин А.В. Чувствительность и специфичность как клинические индикаторы качества лабораторных исследований. *Лабораторная служба*. 2020;9(4):5–6.
9. Неретин Е.Ю., Куколкина В.В. Возможности диагностики меланомы кожи с применением экспертной системы // *Поволжский онкологический вестник*. 2014. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-dianostiki-melanomy-kozhi-s-primeneniem-ekspertnoy-sistemy> (дата обращения: 06.12.2023).
10. ПроРодинки [Электронный ресурс]. — URL: <https://prorodinki.ru/> (Дата обращения 08.12.2023)
11. Прохоренок Н.В., Орен CV и Java. Обработка изображений и компьютерное зрение. — СПб.: БХВ-Петербург, 2018. — 320 с.
12. Распознавание злокачественных новообразований на самых ранних стадиях. диагностика на fotofinder [Электронный ресурс]. — URL: <https://spbkvd1.ru/services/raspoznvanie-zlokachestvennyh-novoobrazovanii-na-samyh-rannih-stadiyah>
13. Томакова Р.А., Дзюбин И.А., Брежнев А.В. Метод и алгоритм обучения сверточной нейронной сети, предназначенной для интеллектуальной системы распознавания меланомы // *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2022; 12(1): 65–83
14. ABCD Rule [Stolz et al. *Eur J Dermatol* 1994] [Electronic resource]. URL: <https://dermoscopy.org/consensus/2b.asp> (Дата обращения к ресурсу 22.11.2023)
15. Argenziano G. 3-point checklist of dermoscopy. Available from: <https://dermoscopy-ids.org/wp-content/uploads/2015/05/3pt.tu-torial.pdf> (Дата обращения 06.12.2023).
16. Babar, K.R. Dermatoscopy for melanoma and pigmented lesions / K.R. Babar, S.A. Christine // *Dermatol. Clin.* — 2012. — Vol. 30, № 3. P:413–434.
17. Budhiman A., Suyanto S., Arifianto A., «Melanoma Cancer Classification Using ResNet with Data Augmentation» 2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 17–20, doi: 10.1109/ISRITI48646.2019.9034624.
18. Calzavara-Pinton, P., Longo, C., Venturini, M., Sala, R. and Pellacani, G. (2008), Reflectance Confocal Microscopy for In Vivo Skin Imaging. *Photochemistry and Photobiology*, 84: 1421–1430. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.2008.00443.x>
19. Drexel Laboratory of Automated Systems [Electronic resource]. 2002. URL: http://www.pages.drexel.edu/~weg22/can_tut.html (Дата обращения 28.10.2023)
20. Early diagnosis of cutaneous melanoma: revisiting the ABCD criteria / N.R. Abbasi., H.M. Shaw, D. S. Rigel [et al.] // *JAMA*. — 2004. — Vol. 292, № 22 P:2771–2776.
21. Geethu H., Shamna S., Kizhakkethottam J. Weighted Guided Image Filtering and Haze Removal in Single Image // *Procedia Technology*. — 2016. — 24. — p.1475–1482.
22. Haenssle H.A., Fink C. et al. Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists. *Annals of oncology*, vol. 29, issue 8, 2018, pp. 1836–1842.
23. Hoffmann, K. et al. (1998). Optical Coherence Tomography (OCT) in der Dermatologie. In: Garbe, C., Rassner, G. (eds) *Dermatologie*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-71974-5_1
24. Kittler H. Evolution of the Clinical, Dermoscopic and Pathologic Diagnosis of Melanoma. *Dermatology Practical & Conceptual*, vol. 11, no. S1, 2021, pp. 1–10.
25. Nilsson T, Soderberg M, Lundqvist G, et al. A comparison of spiral computed tomography and latex agglutination D-dimer assay in acute pulmonary embolism using pulmonary arteriography as gold standard. *Scand Cardiovasc J* 2002;36:373–7.
26. Ngoo A, Finnane A, McMeniman E, et al. Fighting melanoma with smartphones: a snapshot of where we are a decade after app stores opened their doors. *Int J Med Inform*. 2018;118:99–112
27. Ohsaki M. et al. Confusion-matrix-based kernel logistic regression for imbalanced data classification // *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*. — 2017. — Т. 29. — No. 9. — С. 1806–1819.
28. Pakdemirli E. Artificial intelligence in radiology: friend or foe? Where are we now and where are we heading? *Acta Radiol Open*. 2019;8(2):2058460119830222.
29. Saghir U., Devendran V. A Brief Review of Feature Extraction Methods for Melanoma Detection. In *Proc. of the 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS)*, vol. 1, 2021, pp. 1304–1307.
30. Thanh D.N., Prasath V.B. et al. Melanoma skin cancer detection method based on adaptive principal curvatures, colour normalisation and feature extraction with the ABCD rule. *Journal of Digital Imaging*, vol.33, issue 3, 2020, pp. 574–585
31. Thanh D.N.H., Hien N.N. et al. Adaptive Thresholding Skin Lesion Segmentation with Gabor Filters and Principal Component Analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1125, 2019, pp. 811–820.
32. Thanh D.N.H., Hien N.N. et al. Automatic Initial Boundary Generation Methods Based on Edge Detectors for the Level Set Function of the Chan-Vese Segmentation Model and Applications in Biomedical Image Processing. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1125, 2019, 2018, pp. 171–181.
33. Tschandl P, Rosendahl C, Kittler H. The HAM10000 dataset, a large collection of multi-source dermoscopic images of common pigmented skin lesions. *Sci Data*. 2018;5:180161–180161. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]

К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НЕФТЕСЕРВИСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ: ПОТЕНЦИАЛ, ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

ON THE ISSUE OF AUTOMATING THE PROCESS OF ENSURING INFORMATION SECURITY OF OILFIELD SERVICE ENTERPRISES. POTENTIAL, AREAS OF APPLICATION

**A. Krasnov
K. Lystsev
I. Chekanov**

Summary. Information security in modern society is of paramount importance. To study the areas of potential automation of information security processes oilfield service enterprises are chosen, because their activities contain all the key elements of modern commercial production companies. In the process of the research the key elements of information security of oilfield service enterprises, as well as the features and tasks of the local information security system are separately identified. In addition, the specifics of establishing the regime of trade secrets, and, as a consequence, the organization of work on its protection are outlined.

Keywords: oilfield service enterprises, management, automation, information system, protection.

Краснов Андрей Евгеньевич

*Доктор физико-математических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Российский государственный социальный университет
krasnovmgutu@yandex.net*

Лысцев Константин Сергеевич

*Аспирант, Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Российский государственный социальный университет
Konstantin.Lystsev@bk.ru*

Чеканов Иван Романович

*Аспирант, Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
Российский государственный социальный университет
cartmen98@yandex.ru*

Аннотация. Информационная безопасность в современном обществе приобретает первостепенное значение. Для изучения областей потенциальной автоматизации процессов обеспечения информационной безопасности выбраны нефтесервисные предприятия, поскольку их деятельность содержит все ключевые элементы современных коммерческих производственных компаний. В процессе исследования отдельно выделены ключевые элементы информационной безопасности нефтесервисных предприятий, а также особенности и задачи локальной системы информационной безопасности. Кроме того, обозначена специфика установление режима коммерческой тайны, и, как следствие, организации работы по ее защите.

Ключевые слова: нефтесервисные предприятия, управление, информационная безопасность, автоматизация, защита.

Введение

Нефть и природный газ являются основными отраслями энергетического рынка и играют важную роль в мировой экономике в качестве основных источников топлива. Процессы и системы, связанные с добычей и распределением нефти и газа, очень сложны, капиталоемки и требуют самых современных технологий [1]. В тоже время, играя жизненно важную роль в мировой экономике, нефтегазовая отрасль является главной мишенью для киберугроз. В ее работе задействованы такие важные объекты инфраструктуры, как нефтеперерабатывающие заводы, трубопроводы и буровые установки. В условиях растущей цифровизации и взаимосвязанности систем обеспечение надежных мер информационной безопасности имеет огромное значение. Чтобы обеспечить защиту от информационных атак в нефтегазовой отрасли, необходимо

применять комплексный междисциплинарный подход, который к тому же должен быть синхронизирован. Это способствует гармоничной интеграции бизнес-операций и технологических достижений.

Важным фактором необходимости построения эффективной системы информационной безопасности нефтесервисных предприятий является их последовательная интеграция в информационные системы вертикально-интегрированных нефтяных и газовых компаний. Осуществляя свою деятельность на объектах таких компаний, нефтесервисные предприятия включаются в их информационное пространство, для работы в специально создаваемых информационных системах. На сегодняшний день такие системы реализованы в сегментах оформления пропусков для проезда на лицензионные участки (месторождения), производственные объекты, аккредитации субподрядных организаций, базы дан-

ных обученности персонала, обмена производственным сводками. Все вертикально-интегрированные нефтяные и газовые компании являются субъектами критической информационной инфраструктуры, имеют значимые категории, в связи с чем, включение требований по уровню информационной безопасности в нефтесервисных предприятиях в состав квалификационных показателей на стадии проведения тендеров вопрос времени и является неизбежным.

Таким образом, принимая во внимание тот факт, что последствия успешных атак на информационные системы нефтесервисных предприятий могут быть серьезными и привести к физическому ущербу, перебоям в производстве, экологическим катастрофам и значительным финансовым потерям, вопросы, связанные с обеспечением их информационной безопасности, являются актуальными, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

Ключевые элементы информационной безопасности нефтесервисных предприятий

По мере того, как все операционные системы нефтесервисных компаний переходят в режим онлайн и беспрепятственно соединяются с Интернетом вещей (IoT), их уязвимость и подверженность кибератакам возрастают в геометрической прогрессии. Цифровизация должна осуществляться одновременно с созданием надежной системы информационной безопасности [2].

Реагирование на кибератаки должно быть многоуровневым, отражающим наиболее распространенные угрозы и имеющим адаптивный подход к современным и новым векторам уязвимостей и рисков. В тоже время, система должна быть достаточно гибкой, чтобы воспринимать и адаптироваться к сложностям, возникающим в любой момент в результате интеграции IoT, и при этом придерживаться протоколов, регулирующих такие технологические инструменты, как роботизированная автоматизация процессов, блокчейн и искусственный интеллект.

В настоящее время, свойства и характеристики процесса организации информационной безопасности предприятия подробно описаны и стандартизированы, установлены универсальные методы и средства, используя которые предприятие обеспечивает свою защищенность и информационную безопасность. Несмотря на универсальность подходов по организации информационной безопасности, надежность такой системы, в значительной мере зависит от правильного определения рисков, присущих конкретному предприятию. [3].

Особенностью условий труда в нефтесервисных предприятиях являются непрерывный характер, вы-

сокая степень механизации, автоматизация. Местом проведения работ являются обособленно обустроенная местность — месторождения, расположенные, как правило, на большом удалении от населённых пунктов. Перечисленные факторы, приводят к тому, что предприятия применяют вахтовый метод работы, содержат большой штат персонала.

Внутренние локальные документы нефтяных компаний, требования федерального законодательства усугубляют высокие требования к обучению персонала, состоянию здоровья, периодичности медицинских обследований.

Федеральный Закон «О защите персональных данных» с момента принятия, до сегодняшнего времени претерпел 29 дополнений и изменений, что свидетельствует об особой актуальности регулируемых им вопросов, и постоянной адаптации его требований к меняющимся реалиям [4]. Наиболее значимыми дальнейшими изменениями являются инициативы по повышению ответственности за утечку персональных данных. В настоящее время в России закончили работу над законопроектом об оборотных штрафах за утечки персональных данных. Итоговая версия предусматривает наказание за подобные инциденты до 3 % совокупной выручки компаний [5].

Нефтесервисный рынок отличается высокой степенью конкуренции, в связи с чем в сегменте информационной безопасности возникает необходимость защиты коммерческой информации. Конкурирующие компании по-разному подходят к организации производства, использованию финансовых инструментов, оптимизации затрат. Данная информация является критической для компании и подлежит защите.

Несмотря на то, что в законе зафиксированы вполне понятные и достаточно простые формулировки и определения, поддержка режима коммерческой тайны, и, как следствие, организация работы по ее защите требует большого объёма действий и мероприятий.

Для введения такого режима использования информации требуется глубокий аудит оборота информации, определение наиболее значимой и критической, требующей защиты. Требуется аудит сотрудников, допущенных к работе с такой информацией, принятие административных мер, в виде подготовки регламентов, распоряжений, приказов, дополнений к трудовым договорам, технические меры контроля.

Нефтесервисные предприятия относятся к действию ФЗ № 187 «О критической информационной инфраструктуре» [6]. Это еще одно направление деятельности в области информационной безопасности. Данное направ-

ление требует постоянного взаимодействия с органами государственной власти, такими как Федеральная Служба Технического и Экспортного Контроля (ФСТЭК), Национальный Центр Компьютерных Инцидентов (НЦКИ).

Согласно п. 6 ст. 2 ФЗ № 187 «О критической информационной инфраструктуре», критическая информационная инфраструктура (КИИ) — объекты критической информационной инфраструктуры, а также сети электросвязи, используемые для организации взаимодействия таких объектов.

Область и потенциал автоматизации системы информационной безопасности нефтесервисных предприятий

Приведенная информация наглядно демонстрирует важность информационной безопасности для функционирования предприятия, в связи с чем возникает потребность в систематизации, накоплении, сохранении сведений, постоянное улучшение процессов. Поскольку, относительно основных бизнес-процессов, информационная безопасность является вспомогательной функцией, ее организация и поддержание должны осуществляться последовательно, затраты не должны быть избыточными, с одной стороны обеспечивающими необходимый уровень защиты, с другой стороны, не отвлекающими избыточные затраты от основных бизнес-процессов.

Основные проблемы информационной безопасности на нефтесервисных предприятиях включают в себя следующее.

Сложные киберугрозы — их источником могут быть государственные структуры и преступные синдикаты. Отрасль сталкивается со сложными современными постоянными угрозами (APT), вследствие чего злоумышленники стремятся получить несанкционированный доступ к ценной интеллектуальной собственности, такой, например, как технологии бурения, данные о пластах или стратегические планы.

Уязвимости промышленных систем управления (ICS) — системы операционных технологий (OT), включая распределенные системы управления (DCS) и системы диспетчерского контроля и сбора данных (SCADA), подвержены информационным атакам. Это особенно актуально для последних, учитывая их длительный срок службы и отсутствие мер безопасности. Такие устаревшие системы часто не имеют регулярных обновлений безопасности (если таковые имеются) и надлежащей сегментации; ограниченные средства контроля безопасности делают их уязвимыми для эксплуатации. Кроме того, многие из них нелегко исправить или обновить, что делает их восприимчивыми к известным уязвимостям.

Инсайдерские угрозы — несанкционированный физический доступ к критической инфраструктуре может привести к взлому или разрушению систем. Другие так называемые внутренние угрозы представляют собой серьезную проблему, поскольку недовольные сотрудники, подрядчики или другие лица, получившие предварительный авторизованный доступ, могут намеренно или непреднамеренно скомпрометировать критически важные системы и данные.

Удаленные операции — растущая зависимость от удаленных операций и устройств IoT создает новые проблемы безопасности. Использование технологий удаленного доступа и взаимосвязь устройств увеличивают поверхность атаки, поэтому для снижения рисков требуются строгие меры безопасности.

Риски цепочки поставок — взаимосвязанный характер нефтесервисных предприятий приводит к появлению слабых мест в работе с третьими сторонами — поставщиками и продавцами. Лица, имеющие привилегированный доступ, могут использовать уязвимости, скомпрометировать системы или непреднамеренно раскрыть критическую информацию. Кроме того, нарушенная цепочка поставок может привести к внедрению вредоносного программного обеспечения или аппаратных компонентов.

Кроме того, необходимо отметить, что на сегодняшний день система информационной безопасности, зачастую, носит фрагментарный характер, для ее функционирования используются разные системы хранения данных, что несет риски утраты информации. В этой связи, логичным решением является локальная система информационной безопасности, развернутая непосредственно на сетевых ресурсах предприятия, функционирующая на принципах аутентификации пользователей и разграничении уровней доступа и прав.

Такая система может решать следующие задачи информационной безопасности:

- накопление и сохранность информации, что снижает риск ее утери, или удаления в случае ротации персонала;
- поддержание внутренних нормативных документов в актуальном состоянии, при истечении планового срока обновления, изменения законодательства, внедрения новых технических решений основного производства;
- организация процесса обучения и тестирования персонала по вопросам информационной безопасности с отражением и сохранением результатов, повторное обучение и тестирование при истечении планового срока, перевода сотрудников на другую или вышестоящую работу.

Заключение

Последние два функциональных решения имеют большой потенциал для интеграции с другими внутренними системами, используемыми в Компании, например, с различными модулями 1С, такими как ЗУП, ERP, а также внешними информационными ресурсами, осуществляющими мониторинг законодательных изменений, такими как «Гарант», «Консультант плюс».

Как указывалось, выше, нефтесервисные предприятия являются объектами критической информационной инфраструктуры. Соблюдение требований ФЗ № 187 требует постоянного документооборота, начиная от первичного категорирования, до регулярного категорирования вновь вводимых объектов основных средств, исключения выбывающего оборудования. Составление и реализация планов и моделей угроз и т.д. Данный процесс имеет значительный потенциал для автоматизации и ее реализации внутри рассматриваемой локальной информационной системы.

В части подготовки документов по категорированию, выбытию объектов критической информационной инфраструктуры автоматизация могла бы быть реализована за счет загрузки в систему шаблонов документов, и создание информационного блока с накоплением информации относительно предприятия, должностных лиц, объектов критической информационной инфраструктуры и их технических характеристик. Техническое формирование документов могло бы быть реализовано за счет миграции данных из информационного блока в шаблоны, с получением готового документа, который, после проверки специалистом, может быть использован предприятием.

Описанный функционал, может быть реализован на базе автоматизированной системы поддержки принятия управленческих решений в области ИБ (АСППУРИБ), с использованием технологии экспертных систем [7].

Подводя итоги, отметим, что в современных условиях перед нефтесервисными предприятиями стоит задача по обеспечению информационной безопасности. Это обусловлено, с одной стороны, спецификой организации труда и производственных процессов, а, с другой, — требованиями законодательства Российской Федерации.

Обеспечение информационной безопасности достигается совокупностью технических и организационных мер.

Основные элементы информационной безопасности, такие как защита персональных данных, коммерческой информации, критической информационной инфраструктуры являются объектами государственного регулирования, что требует постоянного анализа принимающих предприятием мер на достаточность и актуальность.

Перспективным направлением деятельности, является автоматизация ряда направлений информационной безопасности путем создания и использования локальной информационной системы.

Данная система способна обеспечить накопление и сохранность информации, обеспечить доступ к ней только авторизированных пользователей, снизить трудозатраты и повысить эффективность подразделений информационной безопасности, за счет автоматизации подготовки распорядительных документов, в первую очередь по вопросам категорированию и защиты критической информационной инфраструктуры, поддержание их в актуальном состоянии.

Реализация такой системы позволит оптимизировать затраты предприятия на обеспечение информационной безопасности, повысить конкурентное преимущество за счет непрерывных улучшений и соответствия бизнес-процессов требованиям законодательства Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Интернет издание «Нефтегаз.RU». «Роль и назначение нефтегазового сервиса». https://neftegaz.ru/analysis/oil_gas/329673-rol-i-naznachenie-neftegazovogo-servisa/?ysclid=lo4cqtifq226323446
2. Родичев Ю.А. «Информационная безопасность. Национальные стандарты Российской Федерации». Издательство «Питер» СПб. 2023 г
3. Лыцев К.С. «Принципы построения системы информационной безопасности нефтесервисных предприятий в современных условиях». Сборник материалов 14 международной научно-практической конференции «Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков». Москва, 15 февраля 2023 года Махачкала. Издательство «АЛЕФ» стр. 120–124.
4. Информационный сервис «Консультант плюс» https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/.
5. Информационный портал «РБК». https://www.rbc.ru/technology_and_media/27/07/2023/64c15e069a79474102dac8b0?ysclid=lpqg7r0xbz873075781&from=sору.
6. Информационный сервис «Консультант плюс» https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_48699/
7. Краснов, А.Е. Автоматизация поддержки принятия управленческих решений в области информационной безопасности на основе технологии экспертных систем / А.Е. Краснов, И.Р. Чеканов, И.Д. Козочкин // Информатизация образования и науки. — 2023. — № 2(58). — С. 81–89. — EDN TKLBEM.

© Краснов Андрей Евгеньевич (krasnovmgtu@yandex.net); Лыцев Константин Сергеевич (Konstantin.Lystsev@bk.ru); Чеканов Иван Романович (cartmen98@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АВТОМАТИЗАЦИЯ СБОРКИ ОБРАЗОВ И ТЕСТИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ JENKINS НА ЯНДЕКС.ОБЛАКЕ

AUTOMATING IMAGE BUILDS AND TESTING WITH JENKINS ON YANDEX.CLOUD

Liu Yuanzhi
V. Borisov

Summary. DevOps work on Continuous Integration/Continuous Deployment depends on the speed of deployment and on managing the tasks associated with this process. Jenkins, GitHub can help with this. Deployment automation tools will reduce the time it takes to build and configure virtual machine images and make it easier to scale your infrastructure. Automate image building and testing to automate software deployment and reduce the consumption of computer and time resources. Create a tool to automatically build images on Linux systems. To achieve this goal, standard Linux utilities are used. The traditional approach to image building requires knowledge of computer networks. We recommend automatic image builds on linux systems. Based on this situation, the software suite should contain the following components: HTTP server, message broker, and hardware device connections, web interface or special programs. One solution is a software suite: Jenkins, Packer, jq. At the moment, the programs are installed manually on different virtual or physical machines and require knowledge of the host machines operating systems device, as well as knowledge of computer networks and some administration skills. As a result, the following will be created: 1) Cloud network. 2) Sub-networks in all availability zones. 3) VMs from images created with Packer. VMs with nginx will get public IP addresses. All VMs will be connected to subnets. Automating image builds with Jenkins and Packer has been covered in detail. Existing frameworks for image build automation are diverse, each has its own features and drawbacks. The work with Packer was considered on its own example, as a result of which the ease of operation, usability and quick startup were evaluated.

Keywords: DevOps, Jenkins, GitHub, deployment automation, image build automation.

Лю Юаньчжи

Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург
liuliu18845790183@163.com

Борисов Василий Ильич

кандидат технических наук, доцент,
Уральский Федеральный Университет, Екатеринбург
v.i.borisov@urfu.ru

Аннотация. Работа DevOps по непрерывной интеграции и развертыванию приложений (Continuous Integration/Continuous Deployment) зависит от скорости развёртывания и от управления задачами, связанными с этим процессом. В этом помогут Jenkins, GitHub. Средства автоматизации развертывания сократят время на сборку и настройку образов виртуальных машин и облегчат масштабирование инфраструктуры [1]. Автоматизировать сборку образов и тестирование для автоматизации развертывания программного обеспечения и уменьшения потребления компьютерных и временных ресурсов. Создать инструмент для автоматической сборки образов на Linux системы. Для достижения данной цели используются стандартные утилиты Linux. Традиционный подход к сборке образов требует знания компьютерных сетей. Рекомендуем автоматические сборки образов на системах linux. Исходя из этой ситуации, набор программного обеспечения должен содержать следующие компоненты: HTTP-сервер, брокер сообщений, и соединения аппаратных устройств, веб-интерфейс или специальные программы. Одно из решений — набор программного обеспечения: Jenkins, Packer, jq. На данный момент программы устанавливаются вручную на разных виртуальных или физических машинах и требуют знаний устройства операционных систем хост-машин, а также знаний компьютерных сетей и некоторых навыков администрирования [2]. В результате будут созданы: 1) Облачная сеть. 2) Подсети во всех зонах доступности. 3) VM из образов, созданных с помощью Packer. VM с nginx получат публичные IP-адреса. Все VM будут подключены к подсетям [3]. Автоматизация сборки образов с помощью Jenkins и Packer было рассмотрено подробно. Существующие фреймворки для автоматизаций сборки образов разнообразны, каждый имеет свои особенности и недостатки. На собственном примере была рассмотрена работа с Packer, в результате чего оценены легкость в работе, удобство использования и быстрота запуска.

Ключевые слова: DevOps, Jenkins, GitHub, автоматизации развертывания, автоматизация сборки образов.

Введение

Актуальность темы. Существует мнение, что тесты не нужны, если у нас достаточная сборка образов. Но от следующей метафоры никуда не деться: представим, что мы собираем машину. У нас есть четыре хорошо протестированных колеса, протестированная рама вместе с седлом. То есть мы имеем хороший набор тестов. А машина-то в итоге поедет? Чтобы это проверить, нужно нанимать ручных тестировщиков, которые перед каждым релизом должны убедиться, что безу-

печные детали корректно взаимодействуют друг с другом, и машина будет ездить и доставлять пользователю удовольствие [4].

В данном проекте нужна автоматизация сборки образов на Yandex.Cloud. Yandex.Cloud предоставляет частным и корпоративным пользователям инфраструктуру и вычислительные ресурсы в формате as a service [5].

Большое влияние уделяется заключительному этапу производства в технологии машиностроения, а именно

сборке изделия. Важность сборки объясняется тем, что ее результаты в значительной мере определяют производственно-техническое и эксплуатационное качество изделия. Сложность выработки алгоритма выбора оптимального решения поставленной задачи заключается в ее комплексном характере и требует системного подхода с учетом влияния взаимосвязанных конструкторско-технологических факторов. Поэтому разработка научно обоснованных технологических процессов, а также методик, рекомендаций и критериев эффективности, является актуальной задачей [6].

При командной распределенной разработке больших проектов по созданию программного обеспечения в настоящее время широко применяются автоматизации сборки образов. Данная технология использует виртуализацию и средства управления конфигурациями виртуальных машин для применения необходимых параметров и установки требуемых компонентов, автоматизируя процесс синхронизации, настройки и запуска рабочего окружения [7].

Все программы устанавливаются вручную на разных виртуальных или физических машинах и требуют знаний устройства операционных систем хост-машин, а также знаний компьютерных сетей и некоторых навыков администрирования. Достоинства автоматизированной сборки образов по сравнению с ручной сборкой образов:

- Автоматизированные методы компиляции способны преобразовывать исходный код в исполняемые программные приложения, уменьшая количество ошибок в процессе компиляции, выполняемой человеком.
- Технология автоматизированного тестирования позволяет автоматически выполнять различные тестовые сценарии для проверки стабильности и корректности работы программного обеспечения в различных средах и условиях.

Технологии автоматизированного развертывания упрощают, ускоряют и повышают надежность процесса развертывания сборки образов.

1. Автоматизация для Яндекс.Облаков

В данном проекте можно подключать к виртуальным машинам диски с образами на базе ОС Linux, доступные в Marketplace. Каждый диск автоматически реплицируется внутри своей зоны доступности, что обеспечивает надежное хранение данных. Также, для удобного переноса данных с одного диска на другой, Compute Cloud поддерживает снимки дисков [8]. Автоматизация развертывания — одна из самых сложных тем в сфере разработки ПО. По различным наблюдениям, немногие в сообществе автоматизируют развертывание, а те, кто

это делают, не всегда получают реальную пользу. Кроме того, подступиться к теме не так-то просто: материалы в основном разрозненные, не всегда актуальны для нужной платформы, а в чем-то и противоречивы. В общем, чтобы начать нормально автоматизировать развертывание, необходимо очень много искать и разбираться.

Преимущества автоматизированного развертывания:

- Если систему необходимо развернуть распределенным образом, то экономия времени будет экспоненциальной. Пока экономия времени велика, можно применять решение по автоматизированному развертыванию. Это первая точка автоматического развертывания, экономия времени.
- Второе преимущество автоматизированного развертывания заключается в том, что процесс развертывания осуществляется в соответствии со строгими спецификациями. На самом деле, многие компании разработали набор спецификаций процессов и систем, которые подходят для их собственной компании в области проектирования, разработки, тестирования и эксплуатации и технического обслуживания. Но в реальности эти процессы и спецификации постепенно размываются со временем, а в некоторых компаниях весь проект находится в хаосе, о котором они даже не подозревают, когда его создают. Машина, однако, отличается от других и всегда будет следовать разработанной вами программе в точности.
- Третьим преимуществом автоматизированного развертывания является 100% точность ввода команд. Это вполне объяснимо, поскольку люди постоянно устают, расстраиваются, находятся в разном настроении и состоянии, и даже если они в полном порядке, они могут допустить опечатку при наборе команды. Если вы допустите опечатку во время части процесса развертывания «изменить профиль», система не сообщит об ошибке, и только после запуска службы и обнаружения различных проблем вы вернетесь и проверите предыдущие шаги, что займет много времени. Для автоматизированного развертывания это является отличным преимуществом.
- Снизить нагрузку на тестировщиков и повысить эффективность.

Но есть и проблемы:

- Нужно время на внедрение, написание и поддержку;
- При некорректном внедрении практики могут принести больше вреда, чем пользы.

После публикации артефактов сборки в ходе постоянной интеграции следующим шагом становится их развертывание в тестовой среде для автоматического

тестирования: интеграционных тестов, сквозного тестирования, тестов производительности и безопасности. Затем выполняется ручное исследовательское тестирование и сбор обратной связи.

На последнем этапе изменения выпускаются в производственную среду либо в автоматизированном режиме (непрерывное развертывание), либо с помощью запускаемого вручную скрипта (непрерывная доставка).

Рекомендуется использовать во всех окружениях одни и те же артефакты сборки, каждый раз извлекая их из репозитория артефактов, чтобы процесс развертывания везде был максимально похожим.

В этом случае вы протестируете процесс многократно для каждой сборки еще до выпуска в продакшн и будете уверены в ее качестве. Если ваша организация только знакомится с CI/CD и DevOps, договориться о едином процессе развертывания может быть сложно: командам нужно будет выстроить совместную работу для достижения общей цели.

Автоматизация процесса развертывания — необходимое условие для частого выпуска обновлений. Без нее вам придется вручную обновлять тестовые среды и развертывать новые сборки каждый раз, когда нужно запустить режим автоматического тестирования этих сборок. В результате вы будете позже получать обратную связь, и доставка изменений пользователям займет больше времени [9].

2. Фреймворки для автоматизации сборки образов

Рассмотрим существующие фреймворки для автоматизации сборки образов Яндекс. Для каждого типа сначала приведена сравнительная таблица возможностей инструментов, которые к нему относятся. В таблице собрана самая актуальная и достоверная информация о каждом инструменте (см. таблицу 1) [10].

Таблица 1.

Особенности отдельных фреймворков

| Инструмент | Языки | Доступ к исходникам | Реальные устройства |
|------------|------------|---------------------|---------------------|
| Jenkins | Javascript | – | + |
| Packer | Javascript | + | + |
| GitHub | Shell | + | + |
| Terraform | Javascript | – | + |

Jenkins

Jenkins позволяет автоматизировать часть процесса разработки программного обеспечения, в котором не обязательно участие человека, обеспечивая функции

непрерывной интеграции. Работает в сервлет-контейнере, например, Apache Tomcat. Поддерживает инструменты системы управления версиями, включая AccuRev, CVS, Subversion, Git, Mercurial, Perforce, Clearcase и RTC. Может собирать проекты с использованием Apache Ant и Apache Maven, а также выполнять произвольные сценарии оболочки и пакетные файлы Windows. Сборка может быть запущена разными способами, например, по событию фиксации изменений в системе управления версиями, по расписанию, по запросу на определенную URL, после завершения другой сборки в очереди. Jenkins также может автоматизировать развертывание Яндекс-сайтов [11].

Packer

Packer — это инструмент с открытым исходным кодом для создания идентичных машинных образов для нескольких платформ из одной исходной конфигурации. Packer имеет небольшой вес, работает на всех основных операционных системах и обладает высокой производительностью, создавая образы машин для нескольких платформ параллельно. Образ машины — это единый статический блок, содержащий предварительно сконфигурированную операционную систему и установленное программное обеспечение, который используется для быстрого создания новых работающих машин. Форматы машинных образов меняются для каждой платформы. Некоторые примеры включают AMI для EC2, файлы VMDK/VMX для VMware, экспорт OVF для VirtualBox и т.д. Более простое автоматическое развертывание образов Яндекс с помощью Packer [12].

GitHub

GitHub — крупнейший веб-сервис для хостинга IT-проектов и их совместной разработки.

Веб-сервис основан на системе контроля версий Git и разработан на Ruby on Rails и Erlang компанией GitHub, Inc (ранее Logical Awesome). Сервис бесплатен для проектов с открытым исходным кодом и (с 2019 года) небольших частных проектов, предоставляя им все возможности (включая SSL), а для крупных корпоративных проектов предлагаются различные платные тарифные планы [13]. Чтобы Jenkins мог выполнять сборки образов, следует указать авторизационные данные для Yandex Cloud и создать задачу на получение изменений из репозитория GitHub. Авторизационные данные будут использоваться в переменных, находящихся в конфигурационных файлах Packer.

В настройках репозитория GitHub включите webhook для запуска сборки в Jenkins и добавьте публичный SSH-ключ для авторизации.

Сборка образа в Jenkins запускается автоматически после выполнения команды push в ветке master GitHub-репозитория.

Terraform

HashiCorp Terraform — это инструмент инфраструктуры как кода, позволяющий определять облачные и локальные ресурсы в человекочитаемых конфигурационных файлах, которые можно редактировать, повторно использовать и совместно использовать. Затем вы можете использовать последовательный рабочий процесс для обеспечения и управления всей вашей инфраструктурой на протяжении всего ее жизненного цикла. Terraform может управлять низкоуровневыми компонентами, такими как вычислительные ресурсы, ресурсы хранения и сетевые ресурсы, а также высокоуровневыми компонентами, такими как записи DNS и функции SaaS.

Terraform позволяет быстро создать облачную инфраструктуру в Yandex Cloud и управлять ею с помощью файлов конфигураций. В файлах конфигураций хранится описание инфраструктуры на языке HCL (HashiCorp Configuration Language). Terraform и его провайдеры распространяются под лицензией Mozilla Public License.

3. Написание сборки образов и тестирования

Перед работой нужно зарегистрироваться в Yandex Cloud и создать платежный аккаунт:

1. Перейдите в консоль управления, затем войдите в Yandex Cloud или зарегистрируйтесь, если вы еще не зарегистрированы.
2. На странице биллинга убедитесь, что у вас подключен платежный аккаунт, и он находится в статусе ACTIVE или TRIAL_ACTIVE. Если платежного аккаунта нет, создайте его.

Если у вас есть активный платежный аккаунт, вы можете создать или выбрать каталог, в котором будет работать ваша инфраструктура, на странице облака.

Jenkins будет получать изменения в конфигурациях образов VM из GitHub, а затем с помощью Packer создавать образы в облаке.

Packer позволяет создавать образы дисков виртуальных машин с заданными в конфигурационном файле параметрами.

Чтобы Jenkins мог выполнять сборки образов, следует указать авторизационные данные для Yandex Cloud и создать задачу на получение изменений из репозитория GitHub. Авторизационные данные будут использоваться в переменных, находящихся в конфигурационных файлах Packer.

В настройках репозитория GitHub включите webhook для запуска сборки в Jenkins и добавьте публичный SSH-ключ для авторизации.

Сборка образа в Jenkins запускается автоматически после выполнения команды push в ветке master GitHub-репозитория (см. рисунок 1).

После того как образы будут созданы, их можно использовать для создания VM. Создайте тестовую инфраструктуру с помощью Terraform (см. рисунок 2).

После этого будут созданы:

1. Облачная сеть (см. рисунок 3).
2. Подсети во всех зонах доступности (см. рисунок 4).
3. VM из образов, созданных с помощью Packer. VM с nginx получают публичные IP-адреса. Все VM будут подключены к подсетям (см. рисунок 5).

4. Выводы

Подводя итоги проекта, можно утверждать, что автоматизация сборки образов Яндекс было рассмотрено подробно. Существующие фреймворки для автоматизации сборки образов разнообразны, каждый имеет свои особенности и недостатки. На собственном примере была рассмотрена работа с Packer, в результате чего оценены легкость в работе, удобство использования и быстрота запуска. Оба созданных автоматизации сборки образов в точности выдали требуемый результат. Таким образом, результаты проекта можно описать следующими пунктами:

1. Изучены существующие фреймворки для автоматизации сборки образов Яндекс;
2. Внедрена автоматизация сборки образов в Яндекс Облаке;

Образы

| Имя | Описание | Размер | Статус | Дата создания | Оптимизировать для развертывания | Идентификатор | Метки | |
|--|-----------------------------|--------|--------|---------------------|----------------------------------|----------------------|-------|-----|
| <input type="checkbox"/> debian-11-nginx-2023-12-20t16-20-33z | My very custom nginx proxy | 10 ГБ | Ready | 20.12.2023, в 21:22 | Нет | fd8dkg4pu22tc4m1au7h | — | ... |
| <input type="checkbox"/> debian-11-base-2023-12-20t16-17-39z | Yet another debian build 2 | 10 ГБ | Ready | 20.12.2023, в 21:19 | Нет | fd8neh19v8vnbjmgbo8 | — | ... |
| <input type="checkbox"/> debian-11-django-2023-12-20t16-20-33z | My very custom Django build | 10 ГБ | Ready | 20.12.2023, в 21:23 | Нет | fd8sbphdq4nb35hvg1or | — | ... |

Рис. 1. Сборка образа

```
mc [root@bullseye]:/home/vagrant/examples/jenkins-packer/terraform
+ internal = [
+   + [
+     + (known after apply),
+     + (known after apply),
+     + (known after apply),
+   ],
+ ]
}
+ folder_id = "blgbobia866m35q0ad9v"
+ nginx_ips = {
+   + external = [
+     + [
+       + (known after apply),
+       + (known after apply),
+       + (known after apply),
+     ],
+   ]
+   + internal = [
+     + [
+       + (known after apply),
+       + (known after apply),
+       + (known after apply),
+     ],
+   ]
+ }
+ subnet_ids = [
+   + (known after apply),
+   + (known after apply),
+   + (known after apply),
+ ]
]
```

Рис. 2. Тестовая инфраструктура

```
mc [root@bullseye]:/home/vagrant/examples/jenkins-packer/terraform
[
  "192.168.0.31",
  "192.168.1.3",
  "192.168.2.4",
],
]
}
folder_id = "blgbobia866m35q0ad9v"
nginx_ips = {
  "external" = [
    [
      "158.160.122.246",
      "158.160.86.55",
      "51.250.40.68",
    ],
  ],
  "internal" = [
    [
      "192.168.0.5",
      "192.168.1.14",
      "192.168.2.34",
    ],
  ],
}
subnet_ids = [
  "e9b68brau07s4tfaues3",
  "e2102gtילוqli3loht4",
  "b0c0m2ejk9erpjfcnpns",
]
root@bullseye:/home/vagrant/examples/jenkins-packer/terraform#
```

Рис. 3. Облачная сеть



Рис. 4. Подсети во всех зонах доступности

| Имя | Статус | ОС | Платформа | vCPU | Диск vCPU | RAM | Приоритет | Размер диска | Зона доступности | Внутренний IP-адрес | Публичный IP-адрес | Дата создания | Теги |
|---------------------|---------|--------------|-----------------|------|-----------|------|-----------|--------------|------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------|
| yc-fargo-instance-2 | Running | CentOS 7 | Intel Broadwell | 2 | 100% | 2 GB | Нет | 30 GB | ru-central1-c | 192.168.2.4 | — | 21.12.2023, в 13:34 | ef |
| yc-ngfw-instance-2 | Running | CentOS 7 | Intel Broadwell | 2 | 100% | 2 GB | Нет | 30 GB | ru-central1-c | 192.168.2.34 | 51.250.40.68 | 21.12.2023, в 13:34 | ef |
| jenkins-tutorial | Running | Ubuntu 20.04 | Intel Ice Lake | 2 | 20% | 2 GB | Нет | 15 GB | ru-central1-b | 10.129.0.21 | 130.193.42.88 | 20.12.2023, в 19:35 | ef |
| yc-ngfw-instance-1 | Running | CentOS 7 | Intel Broadwell | 2 | 100% | 2 GB | Нет | 30 GB | ru-central1-b | 192.168.1.14 | 158.160.86.55 | 21.12.2023, в 13:34 | ef |
| yc-fargo-instance-1 | Running | CentOS 7 | Intel Broadwell | 2 | 100% | 2 GB | Нет | 30 GB | ru-central1-b | 192.168.1.3 | — | 21.12.2023, в 13:34 | ef |
| yc-ngfw-instance-0 | Running | CentOS 7 | Intel Broadwell | 2 | 100% | 2 GB | Нет | 30 GB | ru-central1-a | 192.168.0.5 | 158.160.122.246 | 21.12.2023, в 13:34 | ef |
| yc-fargo-instance-0 | Running | CentOS 7 | Intel Broadwell | 2 | 100% | 2 GB | Нет | 30 GB | ru-central1-a | 192.168.0.31 | — | 21.12.2023, в 13:34 | ef |

Рис. 5. VM из образов

3. Приобретены возможности автоматической сборки образов.

В ходе работы была спроектирована, программно реализована и исследована автоматизация сборки образов. Сборка образов обеспечивает надежную и качественную работу ее технических объектов и систем в едином стеке при различных типах воздействий и инцидентах, самостоятельно обучается и предоставляет интеллектуальную поддержку при принятии управленческих решений в технических системах в условиях неопределенности.

Объединение всех данных в единый стек является дополнительным достоинством перед существующими решениями [14].

Обобщая все вышесказанное о процессе разработки программного обеспечения, можно выделить следующие перспективы автоматизации данной деятельности:

1. унификация приемов и технологий;
2. упаковка всех этапов разработки программного обеспечения в единую сервисную модель автоматической генерации продукта по типу «черного ящика»;
3. объединение профессиональных ролей [15];

Необходимо автоматизировать процессы для автоматизации сборки образов с минимально возможным количеством уязвимостей там, где это может быть сделано, а также использовать комбинации различных инструментов и подходов для обеспечения качества программного обеспечения [16].

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация сборки образов и тестирование с помощью Jenkins на Яндекс.Облаке — <https://events.yandex.ru/events/webinars/mar-28/> (дата обращения: 16.09.2023).
2. Буров В.С. Автоматизация развертывания системы «умный город» // Алтайский государственный университет. — 2019. — С. 134–135. eLIBRARY ID: 38226016.
3. Автоматизация сборки образов с помощью Jenkins и Packer — <https://cloud.yandex.ru/docs/tutorials/infrastructure-management/jenkins> (дата обращения: 16.09.2023).
4. Чимитов П.Е. Построение последовательности сборки планера самолета на основе образа изделия // Иркутский государственный технический университет. — 2009. — С. 218–222. eLIBRARY ID: 12808290.
5. Яндекс.Облако — <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AF%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BA%D1%81.%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%BE> (дата обращения: 16.09.2023).
6. Борисов В.М., Лашков В.А., Борисов С.В. Критерии оценки оптимального варианта технологических процессов сборки в компрессоростроении // КНИТУ. — 2020. — С. 91–93. eLIBRARY ID: 43794529.
7. Колясников П.В., Силаков И.Н., Ильин Д.Ю., Гусев А.А., Никольчев Е.В. Повышение эффективности виртуального рабочего окружения распределенной разработки программ // Российская академия образования, Москва, Россия, МИРЭА — Российский технологический университет, Москва, Россия, Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия. — 2019. — С. 72–80. eLIBRARY ID: 38468907.
8. Yandex Compute Cloud — <https://cloud.yandex.ru/docs/compute/> (дата обращения: 16.09.2023).
9. Что такое автоматизация развертывания? — <https://www.jetbrains.com/ru-ru/teamcity/ci-cd-guide/concepts/deployment-automation/> (дата обращения: 16.09.2023).

10. Программа для развертывания приложений на базе sel4 с помощью фреймворка samkes / Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис». // Университет Иннополис. — 2022. eLIBRARY ID: 49199038.
11. Jenkins (программное обеспечение) — [https://ru.wikipedia.org/wiki/Jenkins_\(%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Jenkins_(%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) (дата обращения: 16.09.2023).
12. What is Packer? — <https://developer.hashicorp.com/packer/docs/intro> (дата обращения: 16.09.2023).
13. GitHub — <https://ru.wikipedia.org/wiki/GitHub> (дата обращения: 16.09.2023).
14. Басыня Е.А. Программная реализация и исследование системы интеллектуально-адаптивного управления информационной инфраструктурой предприятия // Новосибирский государственный технический университет, Научно-исследовательский институт информационно-коммуникационных технологий, 630073, г. Новосибирск, пр-т К. Маркса, 20. — 2020. eLIBRARY ID: 43477195.
15. Вичугова А.А. Автоматизация процесса разработки программного обеспечения: методы и средства // Томский политехнический университет. — 2016. eLIBRARY ID: 26236252.
16. Тулеубаева А.А., Камолов А.Б., Рычков В.А. Современные методологии разработки безопасного программного обеспечения // НИЯУ МИФИ. — 2022. eLIBRARY ID: 47961926.

© Лю Юаньчжи (liuliu18845790183@163.com); Борисов Василий Ильич (v.i.borisov@urfu.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПОВЕДЕНЧЕСКИЕ АРГУМЕНТЫ ДИСКОНТИРОВАНИЯ ЦЕН ЗАСТРОЙЩИКАМИ

FUNDAMENTAL AND BEHAVIORAL ARGUMENTS FOR PRICE DISCOUNTING BY DEVELOPERS

D. Mikhailov

Summary. Recently, there have been noticeable changes in the flow of scientific work on the residential real estate market: both researchers and practitioners are increasingly aware of the influence of psychological effects. In the segment of observational studies, the authors note a shortage of behavioral studies in national markets. This study fills this gap in relation to the Russian residential real estate market, which has not been affected by such studies. His research hypotheses concern the presence of behavioral factors, their quantitative assessment, comparison with fundamental indicators and comparison with quantitative assessments of previous authors. The study was conducted on panel data using a linear fixed effect model. The size of the effects on domestic regional markets of the phenomena of loss aversion and reference dependence is comparable to those in foreign markets and amounts to a fraction of a percent. It has been established that the effects of behavioral aspects in influencing market parameters are of the same order as the indicators of the regional economy, which dictates the need to take them into account when making decisions. This confirms our hypotheses. The work has both scientific and applied significance. The novelty of the work lies in the combination of different behavioral phenomena in one model, as well as in the development of a new design that avoids imperfect prediction of reference points.

Keywords: real estate, behavioral aspects, loss aversion, anchoring, fixed effect panel data model, pricing, developers, fundamental factors, discount.

Михайлов Дмитрий Владимирович

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург
mihailovvg@yandex.ru*

Аннотация. В последнее время в потоке научных работ по тематике рынка жилой недвижимости появились заметные изменения: и исследователи и практики все больше осознают влияние психологических эффектов. В сегменте обсервационных исследований авторы отмечают дефицит поведенческих исследований на национальных рынках. Настоящее исследование восполняет этот пробел в отношении не затронутого такими исследованиями рынка жилой недвижимости РФ. Его исследовательские гипотезы касаются наличия поведенческих факторов, их количественной оценки, сравнения с фундаментальными показателями и сопоставления с количественными оценками предшествующих авторов. Исследование проведено на основе панельных данных с помощью линейной модели с фиксированным эффектом. Размер эффектов на отечественных региональных рынках феноменов неприятия потерь и референс-зависимости сопоставим с аналогичными на зарубежных рынках и составляет доли процента. Установлено, что эффекты поведенческих аспектов во влиянии на рыночные параметры имеют один порядок с показателями региональной экономики, что диктует необходимость их учета при принятии решений. Это подтверждает сделанные нами гипотезы. Работа имеет как научное, так и прикладное значение. Новизна работы состоит в объединении разных поведенческих феноменов в одной модели, а также в разработке нового дизайна, который позволяет избежать несовершенного прогнозирования референсных точек.

Ключевые слова: недвижимость, поведенческие аспекты, неприятие убытков, заякоривание, модель панельных данных с фиксированным эффектом, ценообразование, застройщики, фундаментальные факторы, дисконт.

Введение

Основой формирования цен на жилье долгое время считалась гедонистическая модель [1]. Однако в последнее время в потоке научных работ по данной тематике появились заметные изменения: и исследователи и практики все больше осознают влияние психологических эффектов в этой области [2]. Так, исследователи поведенческих наук уже внесли свой вклад в секторе недвижимости, изучив влияние поведенческих аспектов на ценообразование, торгуемые объемы, предпочтения при выборе домов, ипотеку, цикличность рынка жилья. Вао, Meng (2017) [2] провели подробный литературный обзор, выявив 27 высоко цитируемых статей с тематикой «неприятие потерь в недвижимости». Ими отмечается, что доля работ с исследованиями этой когнитивной предвзятости среди всех работ с поведен-

ческой тематикой в последние годы составляет от 29 % до 75 % и является лидирующей. В этой подборке авторы классифицировали методы исследования этого эффекта как 1) полевые обсервационные исследования (48 %), 2) полевые эксперименты (29 %), лабораторные эксперименты (8 %), обзоры (11 %), симуляции (4 %). Обсервационные методы наиболее точно отражают реальность, а результаты демонстрируют высокую внешнюю достоверность. В то же время возникают трудности с обоснованием внутренней достоверности из-за влияния других экзогенных и искажающих факторов. Эти же авторы сообщают, что потери могут быть выражены в самых разных единицах измерения — деньги, время, риск, натуральные показатели. Размер эффекта, оцененный в работах, попавших в обзор, лежит в диапазоне от 0,7 % до 35 %. В то же время проведенный Brown et al. [3] в 2021 году метаанализ 150 работ с 607 эмпирическими оценками

эффекта неприятия потерь во всех сферах показал размер этого эффекта 1,955 с 95 % интервалом [1.820, 2.105], что означает, что единица выигрыша ценится почти в два раза ниже, чем единица убытка. Столь значительный разброс размера этого феномена может быть объяснен разными подходами исследователей к формированию референсных точек, что обусловлено не только применяемыми моделями, но и культурными особенностями изучаемой популяции, — утверждается Bao, Saunders (2023) [4]. И здесь же далее «...несмотря на то, что их выводы весьма информативны, можно утверждать, что они специфичны для французского рынка жилья и, следовательно, могут не иметь общего применения. Чтобы надежно экстраполировать результаты на универсальный рынок, аналогичные исследования необходимо провести на других национальных рынках недвижимости».

В таблице 1 представлена типизация работ по тематике.

Как видно из таблицы 1, фактически вся история наблюдательных исследований поведенческих предубеждений в недвижимости складывалась на основе индивидуальных данных транзакций физических лиц. К рубежу 2020-х годов было «...мало что известно, склонны ли другие участники рынка, например, застройщики, к таким предубеждениям» [9]. Точно также, начиная

со ставшей для данного направления референсной работы Genesove, Mayer (2001) [5], исследователи занимались повторными продажами. И только к 20-м годам ученые начали осваивать нишу рынка первичной недвижимости [9] и presale [10] (продажи до готовности, «продажи на котловане»). Эта стратегия хеджирования законодательно запрещена на подавляющем числе национальных рынков жилой недвижимости. Большое распространение она получила в Юго-Восточной Азии, а в Российской Федерации (РФ) стала фактически единственным способом продажи нового жилья. Еще одной чертой практически всех состоявшихся наблюдательных исследований [5–10] является использование гедонистической модели ценообразования с разнообразными наборами физических характеристик объектов для прогноза референсной точки (рыночной цены объекта продажи), которая затем сопоставляется с ценой, назначаемой продавцом.

Весьма важным исключением из общего потока вышеупомянутых работ служит статья Leung, Tsang (2010) [7]. Эта работа отличается тем, что объединяет в своей модели не один феномен, а оба — и неприятие убытков продавцов, и референс-зависимость покупателей. Такой подход гораздо ближе к реальности, потому что субъекты, в зависимости от роли в сделке, преимущественно подвержены разным предвзятостям.

Таблица 1.

Типизация работ по тематике

| Статья | Роль | Референс точка | Источник данных | Размер, период сэмпла | Недвижимость | Страна, регион | Феномен\ ед.изм., размер | Методы |
|----------------------------|--------|---|------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|--|------------------------------------|
| Bao, Saunders (2023) [4] | П и ПР | первоначальная цена покупки/ начальная цена, последняя цена, промежуточная цена | онлайн эксперимент ФЛ | 400, 2019 | Частное жилье | Великобритания | РЗ\деньги, 9–25% | линейная регрессия |
| Genesove, Mayer (2001) [5] | ПР | первоначальная цена покупки/ начальная цена | Транзакции ФЛ | 5785, 1990–1997 | повторные продажи | США, Бостон | НП\деньги, 3–18% | линейная регрессия, модель Кокса |
| Anenberg (2011) [6] | ПР | первоначальная цена покупки/ начальная цена | Транзакции ФЛ | 1150497, 1988–2005 | повторные продажи | США | НП\деньги, 35% | линейная регрессия |
| Leung, Tsang (2010) [7] | П и ПР | первоначальная цена покупки/ начальная цена | Транзакции ФЛ | 266720, 1992–2006 | повторные продажи | Китай, Гонконг | РЗ\деньги, 0,07–0,15% НП\время 26–29% | линейная регрессия, логитрегрессия |
| Ross, Zhou (2021) [8] | ПР | первоначальная цена покупки/ начальная цена | Транзакции ФЛ | 139674, 1994–2017 | повторные продажи | США, Коннектикут | НП\деньги, 10% | линейная регрессия |
| Bao et al. (2021) [9] | ПР | цена покупки земли/начальная цена | Транзакции застройщика | 4899, 2003–2014 | новое жилье | Китай, Пекин | НП\деньги, 4–10% | линейная регрессия |
| Li, Chau (2019) [10] | ПР | риск ценовой неопределенности | Транзакции застройщика | 1103, 1995–2015 | presale | Китай, Гонконг | НП\риск, 4,2% | линейная регрессия |

Примечания: П — покупатель; ПР — продавец; ФЛ — физическое лицо; РЗ — референс-зависимость; НП — неприятие потерь; ед.изм. — единица измерения

Учитывая рекомендацию о необходимости обогащения тематики поведенческих аспектов в недвижимости исследованиями национальных рынков [4], мы выполнили такую работу в отношении не затронутого такими исследованиями рынка жилой недвижимости Российской Федерации (РФ). Кроме того, нашу работу можно рассматривать как новый вклад в эту тему с позиций изучения поведения персонала корпораций в отличие от большинства публикаций, преимущественно посвященных изучению транзакций физических лиц. На фоне ограниченного круга национальных рынков недвижимости с опцией presale настоящая работа, используя особенность рынка РФ, относится к пока узкой нише исследований этого сектора. Здесь мы поднимаем вопрос формирования застройщиками транзакционных цен на рынке жилой недвижимости. Транзакционные цены отличаются от листинговых цен прайсов застройщиков. Нас же будут интересовать причины — фундаментальные и поведенческие — которые способствуют этой разнице (дисконту), их выявлению, количественной оценке силы такой связи, ранжированию факторов по важности и значимости.

Таким образом, тестируемые гипотезы настоящей работы:

G1: Субъекты, осуществляющие транзакции на региональных рынках жилой недвижимости РФ, подвержены поведенческим эвристикам — неприятие потерь и референс-зависимость — аналогично субъектам, проводящим сделки на зарубежных рынках?

G2: Размер эффектов поведенческих эвристик — неприятие потерь и референс-зависимость — на транзакционные цены рынка жилой недвижимости РФ аналогичен величине таких эффектов на зарубежных рынках?

G3: Размер эффектов поведенческих эвристик — неприятие потерь и референс-зависимость — на транзакционные цены рынка жилой недвижимости РФ

сопоставим по величине с эффектами показателей региональной экономики?

Данные

Для тестирования гипотез мы используем базу данных транзакций жилой площади одного застройщика с 8 городами присутствия в 7 регионах РФ за период 01.01.2020 — 30.03.2023. База данных содержит 12489 уникальных записей по каждой из проданных квартир в многоквартирных домах (объектах) с указанием филиала застройщика и региона РФ. Структура данных удовлетворяет критерию несбалансированных панельных данных, то есть содержит юнит — филиал застройщика и дату транзакции в форме «год-месяц». Эти два параметра образуют мультииндексдатысет. Такое двумерное представление панельных данных имеет ряд преимуществ, например позволяет учесть влияние принадлежности филиалу. Датасет содержит данные в разрезе квартир, в том числе жилая площадь, цена прайса, цена продажи, дата начала продаж в доме, дата ввода дома в эксплуатацию. Кроме того, в каждой записи имеется информация, специфичная для региона: средневзвешенная ставка ипотеки на первичное жилье, среднемесячная зарплата, средняя цена метра жилой площади, доля непроданного жилья к проданному.

На рис. 1 представлен график цены продажи квадратного метра во времени в разрезе филиалов («fil»).

Модель

Перед менеджерами по продажам застройщика (агентами) стоят противоречащие друг другу требования: с одной стороны, требуется полностью завершить продажи квартир объекта за период с даты открытия продаж до ввода дома в эксплуатацию для соблюдения условий инвестиционного цикла, с другой стороны, продажи должны обеспечить заданный уровень маржинальности. Второе требование выполняется посредством

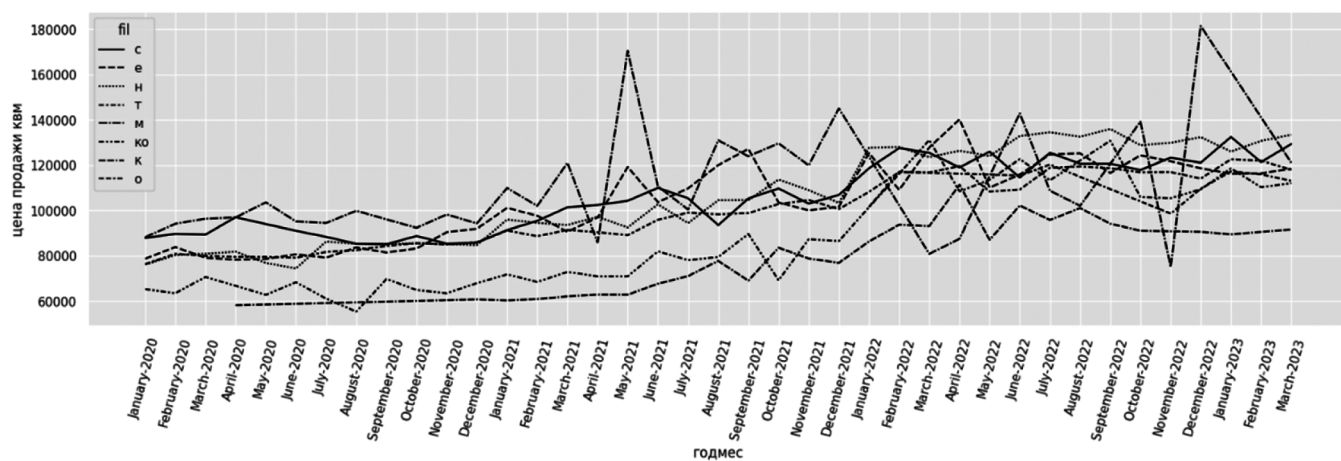


Рис. 1. График цены продажи кв.м за период в разрезе филиалов застройщика

генерации листинговых цен с помощью автоматизированной системы динамического ценообразования в размере справедливой рыночной цены, тогда как первое требование диктует снижение транзакционных цен относительно листинговых за счет применения дисконта. Поэтому актуальным становится вопрос: когда, в каком объеме и под влиянием каких факторов формируется размер дисконта на каждой транзакции? Очевидно, что с учетом выстроенной системы мотивации менеджеров застройщика на этапе уторговывания с клиентом, каждый из них сталкивается с вероятностью понести убыток, выражающийся в не проданном объеме жилья на момент транзакции, то есть вероятно возникновение феномена неприятия потерь персоналом. Такой убыток может быть оценен на разных горизонтах: 1) потери на уровне объекта, когда к дате транзакции не продан объем, установленный планом продаж по объекту (LOSS_объекта); 2) потери на уровне филиала застройщика, когда к дате транзакции не продан объем, установленный планом продаж по филиалу (LOSS_фил); 3) потери на уровне застройщика, когда к дате транзакции не продан объем, установленный планом продаж в целом по корпорации (LOSS_з); 4) ожидаемые потери в продажах объемов, связанные с волатильностью продаж жилья на региональном рынке (LOSS_рег). Расчет по каждому из видов потерь на момент транзакции T производится следующим образом:

$$LOSS_объекта\ i = \sum_{t=T_{нпi}}^T (НПi - ВвЭi) / V_{об\ i} - \sum_{t=T_{нпi}}^T V_{t\ i} \quad (1)$$

$$LOSS_фил\ d = \sum_{i=1}^D \sum_{t=T_{нпi}}^T (НПi - ВвЭi) / V_{об\ i} - \sum_{i=1}^D \sum_{t=T_{нпi}}^T V_{t\ i} \quad (2)$$

$$LOSS_з = \sum_{i=1}^Z \sum_{t=T_{нпi}}^T (НПi - ВвЭi) / V_{об\ i} - \sum_{i=1}^Z \sum_{t=T_{нпi}}^T V_{t\ i} \quad (3)$$

$$LOSS_{рег} = \frac{V(не\ продано)_{рег}}{V(продано)_{рег}}, \quad (4)$$

где *i* — индекс транзакции; *d* — индекс филиала; *D* — число транзакций филиала; *Z* — число транзакций застройщика; НП — дата начала продаж объекта; ВвЭ — дата ввода дома в эксплуатацию; *V_{об}* — общий метраж объекта; *V_t* — накопительные продажи объекта с начала продаж до *T*; *V(не продано)* — объем непроданного жилья по региону в месяце транзакции; *V(продано)* — объем проданного жилья по региону в месяце транзакции.

Покупатели жилья, в свою очередь, на этапе согласования цены транзакции могут быть подвержены феномену референс-зависимости. В качестве якоря обычно выступает среднерыночная цена квадратного метра по региону. Поэтому реализация этой когнитивной предвзятости будет сдвигать удельную транзакционную цену

от удельной листинговой в сторону снижения к среднерыночной. В данном случае референс-зависимость работает только в сторону снижения. Расчет величины референс-зависимости для каждой транзакции производится по формуле:

$$anchor_i = \text{срцена м перврег} - \text{цена листинга квм}_i \quad (5)$$

где *i* — индекс транзакции; «ср цена м перв» — средняя цена метра жилой площади по региону в месяц транзакции; «цена листинга квм» — цена метра транзакции по прайсу.

Кроме того, очевидно, что транзакционная цена устанавливается участниками сделки в условиях действия региональных экономических (РЭ) показателей, требующих контроля, в том числе средневзвешенной ставки ипотеки на первичное жилье («ипфил_п»), среднемесячной заработной платы («срмес_зп»).

И, наконец, в силу организации датасета в структуре панельных данных, необходимо учесть не наблюдаемую гетерогенность в форме фиксированного эффекта от влияния других факторов, не включенных в модель, по региональным рынкам (μ_i) и времени (λ_t).

Исходя из вышесказанного, для эмпирической модели транзакционной цены квадратного метра жилья можно предложить следующую спецификацию:

$$ЦМ_{it} = \alpha + \beta_1 * S_i + \beta_2 * LOSS_{it} + \beta_3 * anchor_{it} + \beta_4 * РЭ_i + \mu_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (6)$$

где *i* — индекс объекта транзакции, *t* — индекс времени («год-месяц»), *S_i* — площадь квартиры. Здесь *LOSS* обозначает комплекс из 4-х видов ожидаемых убытков, определенных формулами (1–4), ϵ_{it} — ошибки регрессии. Интересующие нас коэффициенты β_2 и β_3 являются оценками изолированных чистых эффектов неприятия потерь и референс-зависимости соответственно.

Feature Engineering

Перед разработкой и настройкой модели данных обычной практикой является этап подготовки данных [11, 12]. В нашем случае он состоял из нескольких операций. Было произведено заполнение отсутствующих данных (~0,1 %) средними значениями в параметре среднерыночной цены кв.м по региону. Проведен контроль выбросов. Произведены расчеты целевых параметров из сырых данных по формулам (1–4). Нулевые значения заменены минимальными для последующей возможности логарифмической трансформации. В завершение произведена логарифмическая трансформация всех независимых и зависимой переменной (несмотря на обычную практику использовать натуральный логарифм

в эмпирических жилищных исследованиях цен [13], применен десятичный логарифм для единообразного масштаба всех параметров модели) и рассчитан параметр референс-зависимости по формуле (5).

Инструменты

Настоящее исследование проводилось с использованием информационных ресурсов статуса Open Source, в том числе сервис Google Sheets, среда ColabNotebooks (free аккаунт Google), библиотек Python: pandas, numpy, seaborn, matplotlib, linearmodels [14], statsmodels [15].

Тесты на применимость линейной модели

Проверены три ключевых свойства обычной линейной модели на предмет влияющих на степень соответствия соблюдения всех многочисленных ограничений для применимости метода наименьших квадратов и ее способности объяснять изменения целевой переменной: 1) нормальность распределения остатков, 2) гетероскедастичность, 3) корреляция. Результаты проведенных тестов представлены на панелях А, Б, В рис. 2, соответственно.

Визуальные тесты (см. панель А, Б, В рис. 2) показывают отсутствие нормальности остатков регрессии, их не сильно выраженную гетероскедастичность и легкую корреляцию с целевой переменной. Поэтому нужно

быть готовым к ошибочным доверительным интервалам, хотя можно рассчитывать на несмещенные оценки. Для объединенной линейной модели R^2 составляет 0,59, что, безусловно, не является выдающимся результатом. Однако, известно, что похожие значения этой метрики характерны для большинства финансовых и рыночных датасетов реальных данных, и наш случай не является исключением из правил. Панель Г рис.2 является уже специфичной для панели данных. Ее вид подтверждает небольшие, но заметные различия региональных рынков, что оправдывает применение моделей с фиксированным эффектом. Похожее по размеру стандартное отклонение от среднего у разных филиалов свидетельствует о нецелесообразности проведения дополнительной нормализации целевой переменной.

Результаты

Применив подход, представленный в предыдущем разделе (формула 6), было реализовано три варианта модели, коэффициенты которых и основные метрики представлены на рис. 3: 1) первая модель (Pooled)—обычная линейная регрессия, которая используется как базовая референсная модель, 2) вторая модель — регрессия с фиксированным кросс-секционным эффектом по региональным рынкам для случаев, когда ненаблюдаемые переменные коррелированы с наблюдаемыми (One wayfixedEffects), 3) третья — регрессия со слу-

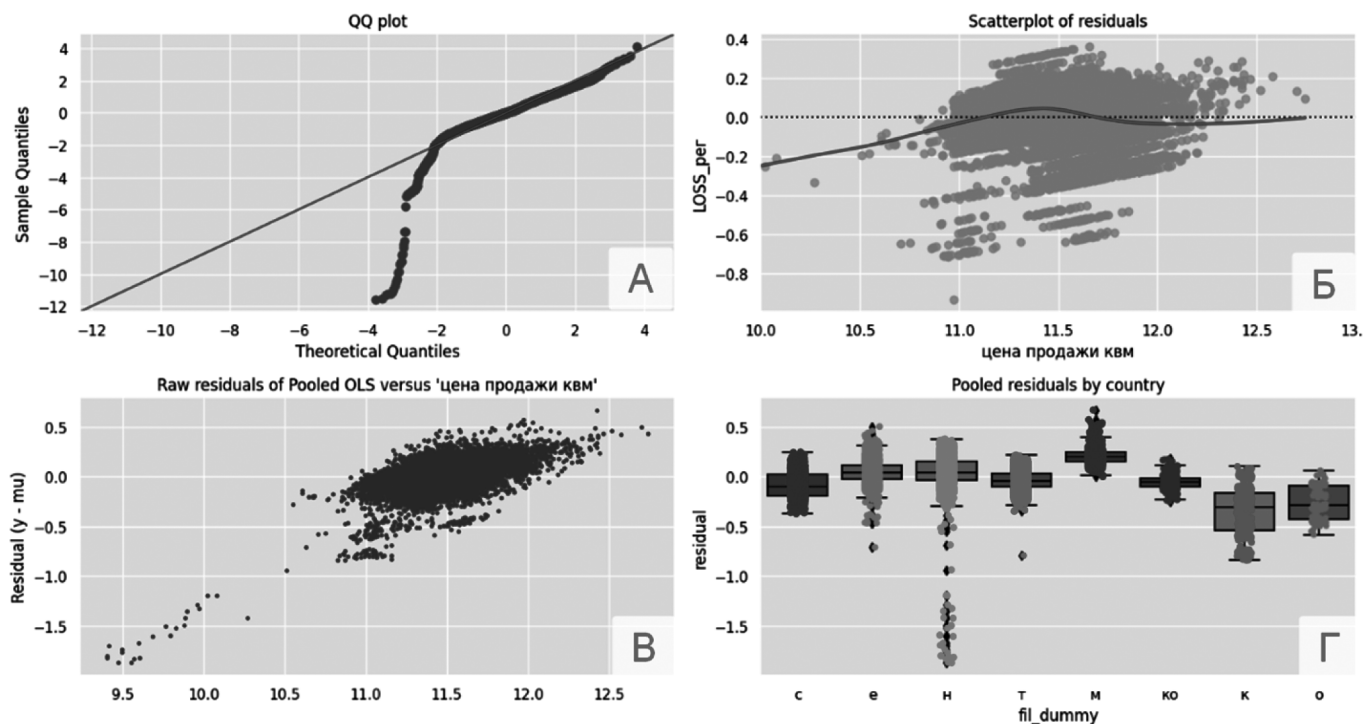


Рис. 2. А. QQ график остаточных ошибок; Б. Тест на гетероскедастичность зависимой переменной (удельная цена транзакции) и одной из объяснительных переменных (ожидаемые потери на уровне региона); В. Тест на корреляцию зависимой переменной с ошибками; Г. Тест кросс-секционной гомоскедастичности региональных рынков (филиалов)

| Model Comparison | | | |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| Pooled One way fixed Effects Random cross-section specific | | | |
| Dep. Variable | цена продажи квм | цена продажи квм | цена продажи квм |
| Estimator | PooledOLS | PanelOLS | RandomEffects |
| No. Observations | 12489 | 12489 | 12489 |
| Cov. Est. | Clustered | Clustered | Unadjusted |
| R-squared | 0.5987 | 0.7685 | 0.5987 |
| R-Squared (Within) | 0.7078 | 0.7526 | 0.7078 |
| R-Squared (Between) | -1.1796 | 1.0000 | -1.1796 |
| R-Squared (Overall) | 0.5987 | 0.7685 | 0.5987 |
| F-statistic | 2068.2 | 2588.1 | 2068.2 |
| P-value (F-stat) | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| const | 7.1576 (79.912) | 7.5948 (80.315) | 7.1576 (88.272) |
| Площадь | -0.0417 (-10.675) | -0.0020 (-0.6280) | -0.0417 (-11.767) |
| A_неА | 0.0126 (4.2215) | 0.0132 (5.7544) | 0.0126 (4.2151) |
| LOSS_объекта | -0.0024 (-5.6774) | 0.0003 (0.7190) | -0.0024 (-5.0105) |
| LOSS_фил | -0.0027 (-6.5089) | 0.0022 (6.4461) | -0.0027 (-6.2038) |
| LOSS_з | 0.0031 (7.5526) | -0.0008 (-2.5799) | 0.0031 (8.8371) |
| ипфил_п | -0.3207 (-24.718) | -0.6053 (-56.174) | -0.3207 (-27.327) |
| срмес_зп | 0.4335 (57.415) | 0.4234 (48.971) | 0.4335 (67.477) |
| anchor | -0.7379 (-77.949) | -0.9332 (-130.61) | -0.7379 (-96.216) |
| LOSS_per | -0.4446 (-27.367) | -0.5180 (-36.236) | -0.4446 (-41.314) |
| fil_dummy.к | | -0.5108 (-31.929) | |
| fil_dummy.ко | | -0.1105 (-19.641) | |
| fil_dummy.м | | 0.2696 (53.990) | |
| fil_dummy.н | | -0.0188 (-5.0771) | |
| fil_dummy.о | | -0.4995 (-21.230) | |
| fil_dummy.с | | -0.1322 (-19.040) | |
| fil_dummy.т | | -0.0947 (-25.678) | |

T-stats reported in parentheses

Рис. 3. Оценки коэффициентов формулы (6) на вариантах моделей

чайным эффектом для случая, когда ненаблюдаемые переменные не имеют корреляции с наблюдаемыми (Randomcross-sectionspecific). Учет ненаблюдаемой гетерогенности по региональным рынкам дает серьезное улучшение в метрике R2, а ее лучшее значение достигает 0,76 по сравнению с 0,59 для моделей 1) и 3). Это серьезное основание рассматривать модель 2) как основную для интерпретации результатов.

Хорошей новостью является тот факт, что коэффициенты всех моделей являются значимыми на уровне $<1\%$, за исключением коэффициента при переменной «LOSS_объекта» в модели 2).

Эффект неприятия потерь

Данный феномен складывается из четырех компонентов по разным горизонтам. Рис. 3 показывает разный вклад компонентов в изменение транзакционной цены. Максимальным эффектом обладает компонент неприятия потерь на уровне региона: увеличение соотношения непроданного жилья к проданному на 1% ведет к снижению цены продажи на $0,51\%$. Остальные же компоненты имеют размер эффекта на два порядка меньше максимального, то есть практически незаметны во влиянии на цену продаж. Эти данные могут свидетельствовать о том, что менеджеры по продажам (агенты) при назначении дисконта в первую очередь руководствуются их субъективной оценкой шанса продать жилье на региональном рынке, чем «страхом» не выполнить план продаж. Чем большие затруднения продаж на рынке недвижимости ощущает продавец в момент транзакции, тем больший дисконт он готов дать покупателю.

Эффект референс-зависимости

Как уже отмечалось, данный феномен характерен для покупателя — при уторговывании квартиры он ориентируется на удельную среднерыночную цену региона. Но необходимость поиска компромисса с покупателем довлеет над продавцом, он вынужден давать дисконт на листинговую цену, несмотря на то что цена прайса рассчитана как справедливая рыночная цена. Увеличение разрыва между удельной ценой листинга и удельной среднерыночной ценой на 1% приводит к снижению цены транзакции на $0,9\%$.

Другие эффекты

Среди наиболее значимых региональных показателей, как производных от национальных фундаментальных параметров, можно выделить средневзвешенную ставку ипотеки на первичное жилье и среднемесячную зарплату, сложившиеся в регионе на месяц транзакции. Эти факторы по-разному влияют на транзакционные цены: если повышение ставки ипотеки затрудняет при-

обретение квартиры, и продавец вынужден снижать цену продажи, то увеличение в регионе средней зарплаты ослабляет давление на транзакционную цену, способствуя ее повышению, что укладывается в логику торговли. Что касается, эластичности этих производных фундаментальных показателей, то их размер $-0,6\%$ для ставки ипотеки и $+0,4\%$ для среднемесячной зарплаты — сопоставимы с размерами рассмотренных ранее поведенческих эффектов. Кроме того, небольшая отрицательная зависимость между транзакционной ценой и площадью квартиры подтверждает тезис о более дорогом метре маленьких квартир. Дополнительно включенный в модель параметр «канал продажи» («A_неА») дает информацию о том, что продажи через агентов в среднем дороже на 1% , чем продажи менеджеров застройщика.

Гетерогенность региональных рынков

Рассмотрение коэффициентов при дамми-переменной филиалов позволяет сделать вывод о наличии региональной гетерогенности в датасете. На рисунке 3 в явном виде содержатся коэффициенты для 7 филиалов из 8. Из-за коллинеарности региональный эффект одного из филиалов «е» совпадает со свободным членом регрессии — $7,59$. Величины эффектов остальных филиалов рассчитываются как сумма свободного члена и относительного коэффициента соответствующей строки с учетом знака, например, эффект филиала «к» будет равен $7,59 - 0,51 = 7,08$ и т.д.

Обсуждение

Отметим несколько важных особенностей проведенного исследования и его место в потоке научных публикаций по тематике.

1. В развитие большинства предшествующих работ наше исследование является кросс-секционным, что добавляет ему веса в надежности полученных оценок по сравнению с работами, использующими датасеты моногородов. Как отмечают X. Zhang et al. (2021) [16], в сравнении с одноцентровыми многоцентровые исследования обеспечивают более диверсифицированную выборку и более сильную обобщаемость (внешнюю валидность).
2. Следуя за Leung, Tsang (2010) [7], мы разработали модель, включив в нее одновременно два феномена. Дополнительно к этому, учитывая иерархическую структуру управления застройщика (общекорпоративный уровень, уровень филиала, уровень объекта), мы ввели аналогичный многоуровневый спектр феномена неприятия убытков по горизонтам вместо одной референсной точки отсчета вероятных убытков, приблизив модель к реальной обстановке работы персонала. Кроме этого, мы не стали ограничиваться лишь вну-

трикорпоративными оценками вероятных убытков, но добавили и внешнюю оценку вероятных убытков на основе анализа вероятности продать жилье на региональном рынке в месяц транзакции с учетом объемов вновь вводимого жилья и фактических объемов продаж по региону. Как показывают результаты, именно эта оценка вероятных убытков на основе текущей рыночной ситуации вносит основной вклад в размер дисконта на фоне малозаметных трех внутренних оценок. Одной из вероятных причин превалирования внешней оценки над внутрикорпоративными может быть тот факт, что почти 40 % продаж осуществлено по агентскому каналу, продавцы которого не располагают внутрикорпоративной информацией о невыполнении планов продаж и попросту лишены «страха» потерь при невыполнении корпоративного KPI. В части продаж менеджерами застройщика можно сделать предположение о недостаточности информирования продавцов о динамике продаж компанией.

3. Дизайн нашего исследования выстроен таким образом, что не использует гедонистические оценки рыночных цен на основе потребительских характеристик квартир и объектов. По нашему мнению, именно этот этап в предшествующих работах может вносить ошибки в оценки величин поведенческих феноменов в силу несовершенства гедонистической модели ценообразования. А широкий диапазон размеров феноменов (см. таблицу 1) вполне может быть обусловлен применением в расчете референсных цен самых разных гедонистических факторов разными исследователями в силу их субъективных предпочтений или же доступности данных. Мы же изучаем чистые эффекты дисконтирования удельной стоимости одной квартиры без необходимости прогнозирования ее рыночной цены. Влияние площади квартиры на цену квадратного метра при оценке ожидаемых убытков преодолевается выбором единицы измерения убытков не в денежных единицах, а в метраже, а в случае $LOSS_{reg}$ — в относительных безразмерных единицах.
4. Полученные нами результаты подтверждают гипотезы Г1, Г2, Г3, сформулированные ранее. Особо стоит отметить, что поведенческие факторы убедительно влияют на конечную цену в размере, сопоставимом с региональными экономическими показателями — ставкой ипотеки и среднемесячной заработной платой. Значимость этого факта обуславливает необходимость учета поведенческих факторов в модели ценообразования для повышения точности прогнозов и при принятии управленческих решений.

5. Величина феноменов в целом соответствует порядку размеров поведенческих предвзятостей, установленных предшествующими исследованиями. Общая тенденция такова, что в случае транзакций физических лиц величина эффектов в целом превышает величину эффектов, которым подвержены персонал корпораций. Таким образом, можно сделать вывод, что поведенческие предвзятости более выражены при реализации персонифицированных прямых интересов, чем в случае опосредованных на персонале корпоративных интересов.
6. К слабостям нашего исследования следует отнести факт невысокой метрики $R^2=0,76$, значение которой не столь убедительно, чтобы делать вывод о высокой объяснительной способности построенной модели. Следует отметить, что во многих предшествующих работах об этом показателе не упомянуто. В тех редких случаях, когда такие сведения сообщают, значения R^2 для размера эффекта референс-зависимости лежат в диапазоне 0,76–0,90, для размера неприятия убытков — в промежутке 0,56–0,64 [6].
7. Наше исследование не преследовало цель выйти за рамки корреляционного анализа. Его можно считать лишь первоначальным этапом раскрытия истинных причинно-следственных связей для обобщения идей и получения истинного понимания взаимоотношений в реальном мире.

В результате проведенного исследования было выявлено, что рынок жилой недвижимости РФ в части наличия и влияния поведенческих факторов на цены мало чем отличается от зарубежных рынков. Размер эффектов феноменов неприятия потерь и референс-зависимости на отечественных региональных рынках сопоставим с аналогичными на зарубежных рынках и составляет доли процента. Кроме того, установлено, что эффекты поведенческих аспектов во влиянии на рыночные параметры имеют один порядок с показателями региональной экономики, что диктует необходимость их учета при принятии решений. Это подтверждает сделанные нами гипотезы. Работа имеет как научное, так и прикладное значение. С одной стороны, она восполняет дефицит поведенческих исследований на национальных рынках жилой недвижимости. С другой стороны, она указывает на практикам на материальный эффект поведенческих предвзятостей персонала, в связи с чем может потребоваться корректировка системы мотивации.

Невысокая объяснительная эффективность линейной модели должна побудить будущих исследователей тематики к поиску новых принципов моделирования, которые мы рекомендуем искать среди методов причинного вывода на базе машинного обучения [17].

ЛИТЕРАТУРА

1. Никитенко Е.В. Анализ уровня доступности жилья // Инженерный вестник Дона, 2012, №4(1) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1111.
2. Bao H.X.H., Meng C.C. Lossa version and housing studies // *Journal of Real Estate Literature*. 2017. V. 25. №1. pp. 49–75.
3. Brown A.L., Imai T., Vieider F., Camerer C.F. Meta-Analysis of Empirical Estimates of Loss-Aversion // *CESifo Working Paper*, 8848 URL: ssrn.com/abstract=3772089.
4. Bao H.X.H., Saunders R. Reference dependence in the UK housing market // *Housing Studies*. 2023. V. 38. №7. pp. 1191–1219.
5. Genesove D., Mayer C. Lossa version and seller behavior: Evidence from the housing market // *The quarterly journal of economics*. 2001. V. 116. №4. pp. 1233–1260.
6. Anenberg E. Lossa version, equity constraints and seller behavior in thereale state market // *Regional Science and Urban Economics*. 2011. V. 41. №1. С. 67–76.
7. Leung T.C., Tsang K.P. Anchoring and lossa version in the housing market: implications on price dynamics // *China Economic Review*. 2013. V. 24. pp. 42–54.
8. Ross S.L., Zhou T. Loss Aversionin Housing Sales Prices: Evidence from Focal Point Bias // *National Bureau of Economic Research*, 2021. №w28796 URL: nber.org/papers/w28796.
9. Bao H.X.H., Meng C.C., Wu J. Referencedependence, lossa version and residential property development decisions // *Journal of Housing and the Built Environment*. 2021. №36. pp. 1535–1562
10. Li L., Chau K.W. What motivates a developer to sell before completion? // *The Journal of Real Estate Finance and Economics*. 2019. V. 59. pp. 209–232.
11. Ozdemir, S., Susarla, D. *Feature Engineering Made Easy: Identify unique features from your data set in order to build powerful machine learning systems*, Packt Publishing, 2018. 316 p.
12. Федутин К.А. Машинное обучение в задачах поддержки принятия решений при управлении охраной природы // *Инженерный вестник Дона*, 2021, №9 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2021/7186.
13. Qu S.J., Hu S.G., Li W.D., Zhang C.R., Li Q.F., Wang H., Qu S. Temporal variation in the effects of impact factors on residential all and prices // *Applied Geography*. 2020. V. 114. pp. 102124.
14. *Bashtage/linearmodels: Release 5.3 (v5.3)* URL: <https://zenodo.org/records/8379085>.
15. Seabold S., Perktold J. *Statsmodels: econometric and statistical modeling with python* // *SciPy*. 2010. V. 7. pp. 92–96.
16. Zhang X., Lam W.Ch., Liu F., Li M., Zhang L., Xiong W., Zhou X., Tian R., Dong Ch., Yao Ch., Moher D., Bian Zh. A Cross-sectional literature survey showed the reporting quality of multicenter randomized controlled trials should be improved // *Journal of Clinical Epidemiology*. 2021. V. 137. pp. 250–261.
17. Brand J.E., Zhou X., Xie Y. Recent developments in causal inference and machine learning // *Annual Review of Sociology*. 2023. V. 49. pp. 81–110.

© Михайлов Дмитрий Владимирович (mihailovvg@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ: АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ПОВЕДЕНЧЕСКОЙ АНАЛИТИКИ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL METHOD FOR PREDICTING THE BEHAVIOR OF OBJECTS IN AN INFORMATION SYSTEM: ANALYSIS OF CURRENT DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF BEHAVIORAL ANALYTICS AND MATHEMATICAL THEORIES

D. Mokhorev

Summary. The study considers the possibility of creating a universal method for predicting the behavior of objects in an information system. To this end, an analysis of current developments in the field of behavioral analytics is carried out and the main mathematical theories underlying them are highlighted. The criteria of universality of algorithms for analyzing the behavior of objects are presented, which make it possible to assess the possibilities and limitations of their use in various conditions and software environments. As a result of the analysis, the problems preventing the creation of a universal method for predicting the behavior of objects in an information system are formulated.

Keywords: information security, machine learning, behavioral analysis, UEBA, Bayes theorem, time series analysis, fuzzy clustering method.

Мохорев Дмитрий Евгеньевич

Аспирант,

ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г.В. Плеханова» РЭУ им. Г.В. Плеханова

mokhorev@rea.ru

Аннотация. В исследовании рассмотрена возможность создания универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе. С этой целью проведен анализ актуальных разработок в области поведенческой аналитики и выделены основные математические теории, лежащие в их основе. Представлены критерии универсальности алгоритмов анализа поведения объектов, позволяющие оценить возможности и ограничения их использования в различных условиях и программных средах. В результате анализа сформулированы проблемы, препятствующие созданию универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе.

Ключевые слова: информационная безопасность, машинное обучение, поведенческий анализ, UEBA, теорема Байеса, анализ временных рядов, метод нечеткой кластеризации.

Введение

Экспоненциальный рост объема обрабатываемых данных уже давно является неотъемлемой частью развития любой современной информационной системы. На первый взгляд, увеличение количества информации только усложняет ее анализ, однако это не так: к большим массивам данных эффективнее применяются функции статистической математики, что позволяет точнее выявлять закономерности и тренды в их изменении. Вопросы, связанные со сбором, хранением и обработкой больших объемов данных, а также получение на их основе ценной для принятия решений информации, рассматриваются в рамках анализа больших данных (Big data analysis). Анализ больших данных, как область научного знания, объединяет математику, статистику и информатику.

Решение задач анализа больших данных представляет собой поиск и выявление закономерностей в масси-

ве данных. Для этого, на основании исходной выборки значений, создается математическая функция, описывающая их изменения. Это процесс называется машинным обучением (ML, Machine Learning), а его результат — моделью искусственного интеллекта (AI, Artificial Intelligence) [2, с. 2]. В связи с устойчивым ростом объема обрабатываемой информации анализ больших данных является одним из наиболее актуальных направлений исследований в сфере информационных технологий, а машинное обучение — основным и активно развивающимся методом анализа.

Глобальная цифровизация привела к тому, что все современные бизнес-процессы организованы через построение информационных систем, в основе которых лежат цифровые данные. Это способствует повсеместному применению машинного обучения для решения различных задач. Существенный результат от использования данной технологии можно получить в сфере защиты информации. Это связано с тем, что традиционные ме-

тоды выявления нарушений безопасности информации основаны на сигнатурном анализе, который заключается в отслеживании ограниченного и заранее известного набора признаков реализации угрозы, индикаторов компрометации (IOC, Indicator of Compromise) [3].

Применение искусственного интеллекта позволяет осуществлять качественно иной подход к мониторингу — поведенческий анализ. Анализ и прогнозирование поведения объектов в информационных системах как метод контроля защищенности информационной инфраструктуры заключается в сборе сведений о состоянии элементов автоматизированных систем (АС), формировании с помощью машинного обучения базовых моделей поведения данных элементов и регистрации аномалий при выявлении отклонений от них. Среди отслеживаемых объектов могут быть, как отдельные пользователи АС, автоматизированные рабочие места, сервера и сетевые устройства, так и их совокупность. Важная особенность поведенческого анализа — это возможность выявления ранее неизвестных угроз, для которых отсутствуют IOC. На фоне роста обрабатываемых объемов данных и увеличения количества и сложности кибератак эта отличительная черта является перспективным преимуществом поведенческой аналитики.

Интерес к поведенческой аналитике обусловлен начавшемся в 2021 и 2022 годах ростом уровня внутренней угрозы для организаций, на который повлияли такие факторы, как уход сотрудников на удаленную работу, активное привлечение к работе сотрудников сторонних компаний и нестабильность рынка труда в целом. В 2021 году организации потратили в среднем 15,38 миллионов долларов на борьбу с инсайдерскими угрозами, что на 34 % больше, чем 11,45 миллионов долларов, потраченных в 2020 году [14]. В 2022 году некоторые вендоры зафиксировали наивысший уровень внутренней угрозы: до 35 % инцидентов вызваны несанкционированным доступом внутренних сотрудников [15]. На основании данного тренда, к 2026 году аналитики прогнозируют рост рынка UEBA с 1,2 миллиардов долларов в 2022 году до 4,2 миллиарда долларов США [6, с. 480]. Однако, согласно отчету «2023 Cyberthreat Defense Report», использование поведенческой аналитики среди опрошенных организаций уступает сигнатурным методам [16]. На рисунке 1 представлена статистика использования технологий сетевой безопасности в опрошенных организациях.

Программные средства защиты информации, в которых поведенческий анализ используется в качестве самостоятельной технологии относятся к системам UEBA (User and Entity Behavioral Analytics, ранее, когда объектом наблюдения были только пользователи, UBA, User Behavioral Analytics). Наиболее популярным сценарием применения UEBA является выявление инсайдерской деятельности и утечек информации. В связи с этим си-

Статистика использования технологий в сетевой безопасности

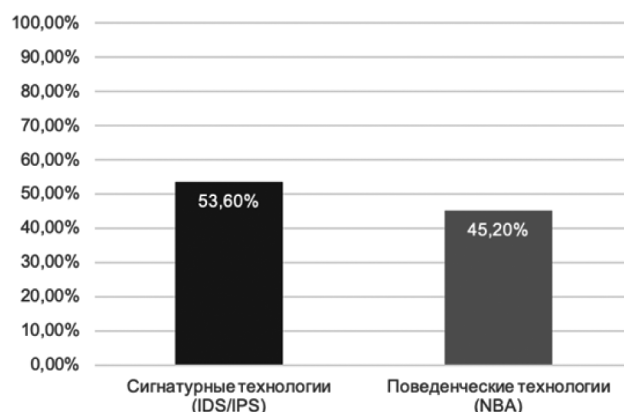


Рис. 1. Статистика использования в организациях технологии сетевой безопасности

стемы UEBA наиболее часто относят к решениям класса IRM (Insider Risk Management) [14].

В настоящий момент в России нет систем защиты информации, реализовавших в полной мере концепцию поведенческого анализа. Средства класса UBA, UEBA, которые использовали российские организации, были разработаны зарубежными компаниями и ушли с отечественного рынка в результате санкций. [4]. Поэтому разработка универсального метода прогнозирования поведения объектов является важным и актуальным вопросом.

Создание инструментов, основанных на поведенческом анализе и машинном обучении, представляет собой сложный процесс и требует затрат большого объема ресурсов. В данном исследовании проведен анализ научных исследований и разработок с целью определения возможности создания универсального для современной типовой информационной инфраструктуры метода прогнозирования поведения объектов.

Методика исследования

Целью данного исследования является оценка возможности создания универсального метода прогнозирования поведения объектов в современной информационной системе. Для достижения поставленной цели проведен анализ актуальных научных публикаций, посвященных проблемам поведенческой аналитики. Рассмотрены возможности и ограничения моделей машинного обучения, лежащих в основе уже разработанных средств защиты информации. В связи с тем, что универсальное средство должно быть совместимо с различным программно-аппаратным обеспечением, особое внимание в исследовании уделялось условиям использования данных разработок. Проанализирован потенциал применения рассмотренных подходов к созданию поведен-

ческих моделей в информационных средах, содержащих компьютеры под управлением разных операционных систем семейств Windows и Unix.

В соответствии с целью сформулированы следующие результаты, которые должны быть достигнуты в рамках данного исследования:

- список основных математических теорий, которые используются при создании средств поведенческой аналитики;
- оценка возможности использования каждой теории при построении универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе;
- перечень проблем, препятствующих созданию универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе.

Список математических теорий был получен в результате анализа доступных в электронной библиотеке «eLIBRARY.RU» научных статей, опубликованных в период с 2021 по 2024 годы. Отбор публикаций выполнялся по таким ключевым словосочетаниям, как: «информационная безопасность», «анализ поведения пользователей», «система мониторинга за действиями пользователей», «ueba», «машинное обучение» и т.д. [4].

Каждая математическая теория, на примере разработанного алгоритма, была оценена с точки зрения возможности использования в различных информационных системах. Для этого были определены следующие критерии:

1. Возможность использования в различных операционных системах. Соответствие данному критерию подразумевает, что применяемый в алгоритме метод выявления угроз безопасности информации не привязан к функциональным особенностям одной операционной системы и может одинаково эффективно работать в различных информационных системах.
2. Возможность использования с различными протоколами и форматами данных. Рассматриваются ограничения для входных данных алгоритма. Соответствие данному критерию означает, что алгоритм поддерживает работу со всеми типами ИОС.
3. Поддержка различных типов кибератак. Данный критерий предполагает, что использование метода анализа позволит выявить большинство современных типов кибератак.

Алгоритм, соответствующий данным критериям, можно считать универсальным, а математическую модель, лежащую в его основе, можно использовать при создании универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе. Важно отметить, что в данной статье рассматриваются только

функциональные особенности методов анализа и не учитывается соответствие требованиям законодательства и регулирующих стандартов. Эти вопросы требуют отдельного исследования.

Результаты исследования

В рамках анализа актуальных научных публикаций, посвященных применению поведенческого анализа в области защиты информации, определены теории математической статистики, которые наиболее часто используются для построения модулей машинного обучения. Результаты анализа представлены на рисунке 2.

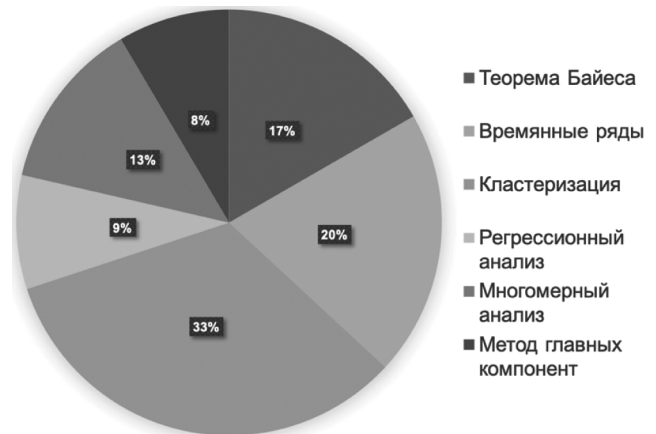


Рис. 2. Частота использования математических теорий в алгоритмах поведенческого анализа

Можно выделить следующие теории математической статистики, лежащие в основе большинства моделей поведенческого анализа в информационной безопасности:

- теорема Байеса;
- метод нечёткой кластеризации;
- анализ временных рядов.

Данные теории были рассмотрены в контексте информационной безопасности и выявления аномалий. Изучены модели поведенческого анализа, построенные на их основе. С помощью обозначенных критериев была произведена оценка возможности использования каждой теории в построении универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе.

Теорема Байеса

Теорема Байеса предназначена для подсчета вероятности наступления определенного события при происшествии другого события из множества взаимоисключающих событий [6, с. 480]. Данная теорема основана на формуле полной вероятности и является одной из основных в теории вероятностей. Если определить, что $P(A)$ — это вероятность события A , $P(B)$ — вероятность произошедшего события B , статистически связанного

с A , то, при $i=1,2,\dots,n$ и $j=1,2,\dots,n$, вероятность наступления события A при наступлении события B можно определить по следующей формуле:

$$P(A_j / B) = \frac{P(A_j)P(B / A_j)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B / A_i)}, \quad (4)$$

где $P(B / A_j)$ — это вероятность наступления события B при наступлении события A .

Данная формула называется формулой Байеса. Ее важная особенность заключается в связи вероятности одного события с другим, уже наступившим. Именно эта связь позволяет использовать формулу Байеса при решении задач поведенческого анализа, в которых требуется предсказать сценарий развития ситуации на основании анализа уже произошедших событий.

На основании теоремы Байеса создана Байесовская сеть. Байесовская сеть — это графическая модель, которая представляет собой совокупность вершин и направленных ребер, описывающих зависимости между случайными величинами [6, с. 480]. Определение вероятностей событий в данной модели выполняется с учетом зависимости между различными случайными величинами с помощью формулы Байеса. Байесовская сеть позволяет представить зависимости в виде графа, где каждая вершина представляет собой случайную величину, а направленные ребра указывают на степень зависимости между ними.

Пример использования теоремы Байеса для решения задач кибербезопасности представлен в работе «Исследование действий пользователей в информационной среде» [7, с. 52]. Автор составил математическую модель обнаружения внутреннего нарушителя информационной безопасности, основанную на байесовской сети. Модель предназначена для анализа поведения пользователей в информационной системе под управлением операционной системы Microsoft Windows. В качестве вершин графа выбраны определенные события информационной безопасности (события ИБ), детектируемые программно-техническими средствами сбора и анализа данных мониторинга. Данные события указывают на возможное нарушение безопасности информации, в том числе реализации угрозы безопасности информации, свое программно-технических средств, обеспечивающих функционирование информационной инфраструктуры, средств защиты информации [1]. В модели отслеживаются следующие события ИБ:

- события журналов Microsoft Windows с идентификаторами 5136–5145, указывающие на попытки и успехи получения доступа пользователя к объектам Active Directory [8];
- события подключения к компьютеру съемных носителей, детектируемые антивирусным программным обеспечением;

На основании предположения, что все отслеживаемые события ИБ являются условно независимыми, можно заключить, что реализация угрозы возможна при наступлении одного или нескольких событий ИБ одновременно. Таким образом, при присвоении каждой вершине графа значения вероятности, возможно составить байесовскую сеть, позволяющую относить события ИБ к стандартной и аномальной активности пользователя.

Результатом применения данной модели является рекомендация сотруднику информационной безопасности по принятию мер, соответствующих одному из трех возможных вердиктов на зафиксированное событие: реализованная угроза, подозрение на реализацию угрозы и ложноположительное срабатывание. Предусмотрены следующие мероприятия:

1. Блокировка учетной записи пользователя (УЗ) — при реализованной угрозе;
2. Проведение дополнительного анализа — при подозрении на реализацию угрозы;
3. Мероприятия по реагированию не требуются — при ложноположительном срабатывании.

Данная модель позволяет анализировать поведение пользователей в информационной системе под управлением Microsoft Windows и вычислять вероятность причастности зафиксированной аномальной активности к реализации угрозы ИБ.

Для определения возможности использования теоремы Байеса в разработке универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе проведем оценку данного подхода по обозначенным критериям.

Возможность использования в различных операционных системах. Несмотря на то, что сам алгоритм ориентирован на работу только в среде Windows, рассмотренный принцип выявления аномалий может использоваться и в других операционных системах. Функционал регистрации событий безопасности имеется во всех операционных системах.

Возможность использования с различными протоколами и форматами данных. Рассмотренный алгоритм работает только с событиями безопасности операционной системы и не подразумевает анализ таких типов данных, как объем передаваемого сетевого трафика, содержание сетевых пакетов и сведения о пользователе. Поэтому данный алгоритм и теорема Байеса не могут использоваться с различными протоколами и форматами данных.

Поддержка различных типов кибератак. Ввиду того, что в рассмотренном алгоритме отсутствует возможность проводить анализ данных сетевого трафика

ка, выявление атак на соответствующем уровне также невозможно. Можно заключить, что этот алгоритм не поддерживает различные типы атак.

Таким образом, с точки зрения выделенных критериев, данный алгоритм нельзя считать универсальным. Однако, теорема Байеса является мощным инструментом для подсчета вероятностей реализации различных событий. В сочетании с другими математическими методами анализа теорема Байеса может использоваться для создания универсальной модели прогнозирования поведения объектов в информационной системе.

Метод нечёткой кластеризации

Задача выявления угроз на основании аномального поведения объектов информационной системы может быть решена через проведение кластеризации. Кластеризация — это процесс подбора признаков схожести и разбиения объектов на кластеры [9, с. 4; 10, с. 372]. В рамках решения данной задачи можно выделить, например, следующие кластеры:

- стандартная активность;
- аномальная активность.

К первому кластеру должны быть отнесены все события, соответствующие безопасному функционированию информационной системы: легитимные действия пользователя, штатная работа сервера и стандартный объем передаваемых по сети данных. Все события, которые указывают на нестандартное поведение объектов информационной системы должны быть отнесены к аномальной активности. Таким образом, отклонения от нормальной работы будут сигнализировать о возможной реализации угрозы информационной безопасности. Точные параметры стандартной и аномальной активностей неизвестны. Таким образом для каждого объекта необходимо посчитать вероятность, с которой он относится к каждому кластеру, количество которых известно и ограничено. Для этого может использоваться метод нечёткой кластеризации [9, с. 9]. Данный метод заключается в подборе оптимального разбиения объектов на группы с целью минимизации ошибки разбиения. [10, с. 373]

Для описанной выше задачи алгоритм применения метода нечёткой кластеризации можно описать следующим образом:

1. выбор двух событий ИБ по количеству кластеров и назначение их центром соответствующего кластера;
2. присвоение к определенному кластеру событий ИБ, наиболее близких по признакам к его центру;
3. пересчет центров на основании обновленного состава кластеров
4. подсчет и проверка ошибки на соответствие критерию.

Таким образом события ИБ, имеющие наиболее похожие признаки будут отнесены к стандартной активности, а остальные — к аномальной.

Метод нечёткой кластеризации широко применяется в рамках решения задач поведенческого анализа [11, с. 76; 12, с. 123]. В работе «Обнаружение аномальных запросов к базам данных на основе методов машинного обучения» с помощью кластеризации выполняется обнаружение аномальных запросов к базам данных [11, с. 77]. Автор представляет алгоритм анализа регистрационного журнала системы управления базами данных (СУБД), позволяющий с помощью методов машинного обучения выявлять признаки реализации угроз безопасности информации. Кластеризация в данном примере используется для отнесения запросов к определенному типу компьютерных атак.

Регистрационный журнал СУБД содержит сведения о всех действиях, выполняемых в СУБД. Каждая запись имеет описание, дату и время запуска каждой операции в СУБД.

Для работы алгоритма создается обучающая выборка, содержащая характерные для реализации угрозы безопасности информации записи регистрационного журнала СУБД. Она формируется на основании анализа компьютерных атак, направленных на базу данных. Данная выборка необходима для обучения классификатора — математической модели, составляющей правила отнесения записей регистрационного журнала СУБД к определенной компьютерной атаке. В основе данной модели используется метод нечёткой кластеризации. С его помощью для каждого анализируемого объекта определяется кластер, состоящий из наибольшего числа похожих экземпляров обучающей выборки (запросов к СУБД). Таким образом выполняется идентификация активности в СУБД по кластеру, который был определен с помощью метода нечёткой кластеризации.

Проведем оценку возможности использования нечёткой кластеризации в разработке универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе с помощью обозначенных критериев.

Возможность использования в различных операционных системах. Алгоритм, основанный на методе нечёткой кластеризации, с точки зрения применимости в различных информационных системах является универсальным, так как в разных операционных системах регистрационные журналы СУБД имеют идентичный набор полей. Используемые в анализе данные из записи журнала имеются во всех типах систем: описание, дата и время запуска операции в СУБД.

Возможность использования с различными протоколами и форматами данных. С точки зрения возмож-

ности использования с различными типами данных, рассмотренный алгоритм ориентирован только на анализ регистрационных журналов СУБД. Поддержка других протоколов и типов данных не предусмотрена в работе данной модели.

Поддержка различных типов кибератак. Часть компьютерных атак, например перехват сетевого трафика, DDoS, эксплуатация уязвимостью приложения, невозможно выявить на основании записей регистрационного журнала СУБД, так как они не влияют на работу базы данных. Поэтому данный алгоритм нельзя назвать универсальным по критерию поддержки различных типов атак.

Однако несмотря на то, что описанный выше алгоритм решает узконаправленную задачу и применим только в анализе регистрационного журнала СУБД, математическая модель, лежащая в его основе, может использоваться для более широкого набора задач. Метод нечёткой кластеризации является универсальным способом кластеризации данных и находит широкое применение в системах поведенческого анализа.

Анализ временных рядов

Широко распространенным в области машинного обучения математическим методом является анализ временных рядов. Если представить состояние одного параметра наблюдаемого объекта в определенный момент времени t , как y_t , то накопленные результаты наблюдений за период времени $t \in [1:n]$ можно представить следующим образом:

$$y_1, y_2, \dots, y_n.$$

Данная последовательность называется временным рядом. Временной ряд — это расположенные в хронологическом порядке значения того или иного показателя, изменение которого отражает ход развития изучаемого явления [12, с. 123]. С помощью временных рядов возможно осуществлять анализ данных с учетом времени, в которое они были записаны. Благодаря этому данный метод также находит широкое применение в поведенческом анализе.

В работе «Модель и метод оценивания защищённости киберфизических систем от информационных угроз на основе анализа временных рядов» представлен алгоритм классификации состояний объектов замкнутой информационной системы (ЗИС), основанный на анализе временных рядов [13, с. 133]. Он используется для выявления нарушений ИБ при идентификации соответствующих состояний ЗИС.

Каждый процесс, протекающий в ЗИС, характеризуется набором параметров объектов ЗИС, изменяющихся

ся с течением времени. Данные параметры собираются и накапливаются в базу данных средствами мониторинга объектов ЗИС. Для конечного набора процессов, протекающих в ЗИС, определено множество временных рядов X , отражающих состояние ИБ объектов ЗИС:

$$\begin{aligned} & \{o_1, \dots, o_m\} = \\ & = x_1(t_1), x_2(t_1), \dots, x_n(t_1), \dots, \{x_1(t_m), x_2(t_m), \dots, x_n(t_m)\} \subset X, \end{aligned}$$

где m — количество объектов ЗИС.

На основании обучающей выборки из l идентифицируемых состояний ИБ КФС выделены два класса состояний ИБ ЗИС: $\{c_1, c_2, \dots, c_k\} \subset C_0$ и $\{c_{k+1}, c_{k+2}, \dots, c_l\} \subset C_1$ — множество безопасных состояний и множество аномальных и потенциально опасных состояний объектов ЗИС соответственно.

Таким образом, для определенного времени t работу разработанного алгоритма μ можно представить следующим образом:

$$c(t) = \mu(x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{s,t}), c \in C, x_{i,t} \in D_i, s \ll n,$$

где D_i — множество допустимых значений признака, s — количество анализируемых признаков [13, с. 133].

Результатом работы алгоритма является идентификация небезопасного состояния объекта ЗИС $c(t) \in C_1$, указывающего на реализацию угрозы безопасности информации ЗИС.

Рассмотрим теорию временных рядов с точки зрения использования в разработке универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе, исходя из обозначенных критериев.

Возможность использования в различных операционных системах. Описанный выше подход позволяет выявлять аномальное поведение объектов замкнутой информационной системы, в которой протекает известный и ограниченный набор процессов. Поэтому данный алгоритм не может использоваться в динамических системах, которыми являются большинство современных информационных инфраструктур. Однако, временные метки событий регистрационных журналов имеются во всех операционных системах. Благодаря этому теория временных рядов может использоваться в любых операционных системах.

Возможность использования с различными протоколами и форматами данных. В рассмотренном алгоритме нет зависимости от определенного типа и источника данных, так как временные ряды возможно применять к неограниченному набору параметров объектов. По-

этому алгоритмы, основанные на анализе временных рядов, можно считать универсальными по критерию поддержки различных протоколов и форматов данных.

Поддержка различных типов кибератак. Несмотря на то, что рассмотренный подход к использованию теории временных рядов не привязан к определенному типу данных, выявление некоторых кибератак требует более глубокой аналитики. Например, для обнаружения нелегитимной выгрузки данных внутренним нарушителем необходимо вычислить объем переданного трафика. Распределение на временной шкале различных событий безопасности является важной составляющей мониторинга, но должно использоваться в совокупности с другими методами анализа. Поэтому теорию временных рядов нельзя считать достаточной для выявления всех типов кибератак.

Выводы

На основании результатов проведенных исследований текущее состояние разработок в области поведенческого анализа можно охарактеризовать следующими образом:

1. Системы поведенческого анализа в настоящий момент используются для решения узконаправленных задач;
2. Системы поведенческого анализа используются только в информационных системах со строго ограниченным составом программного и аппаратного обеспечения;
3. В настоящий момент отсутствует единый подход к построению аналитических модулей. В основе моделей машинного обучения используются различные теории и методы математической статистики.

Таким образом, можно выделить следующие проблемы, препятствующие созданию универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе:

1. Недостаток данных. Универсальный метод прогнозирования поведения объектов должен быть основан на данных, которые имеют одинаковое содержание в различных сценариях работы и не зависят от состава программно-аппаратного обеспечения.
2. Разнообразие информационных систем. В современных информационных инфраструктурах используется множество различных информационных систем, каждая из которых имеет свои особенности и специфические данные. Это может затруднить создание универсального метода прогнозирования поведения объектов. Необходимо провести комплексный анализ каждой из этих систем для выбора наиболее подходящего для этой задачи состава данных.

3. Сложность математических теорий. Создание универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе должно быть основано на совокупности математических теорий. Для эффективного использования различных теорий совместно требуется углубленный анализ в области математики и статистики.

Обсуждение и заключение

В результате исследований определены основные математические методы и подходы к разработке, используемые при создании систем поведенческой аналитики. Составлен следующий список математических теорий, лежащих в основе большинства алгоритмов поведенческого анализа в информационной безопасности:

- теорема Байеса;
- метод нечёткой кластеризации;
- анализ временных рядов.

На основании обозначенных критериев выполнена оценка возможности использования каждой математической теории при построении универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной системе. Результаты оценки представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Соответствие математических моделей критериям универсальности

| | Теорема Байеса | Метод нечёткой кластеризации | Анализ временных рядов |
|--|----------------|------------------------------|------------------------|
| Возможность использования в различных операционных системах | + | + | + |
| Возможность использования с различными протоколами и форматами данных. | - | - | + |
| Поддержка различных типов кибератак | - | - | - |

Сформулированы актуальные проблемы, препятствующие созданию универсального метода прогнозирования поведения объектов. Полученные результаты являются основной для дальнейших исследований в данной области. Последующие работы должны быть сосредоточены вокруг решения следующих проблем:

- определение требований к универсальной модели прогнозирования поведения объектов в информационной системе;
- выбор достаточного для поведенческого анализа состава данных, который не зависит от перечня используемого в информационной системе программного обеспечения;

— разработка комплексного алгоритма прогнозирования поведения объектов, основанного на совокупности математических теорий.

Таким образом, на основании анализа научных публикаций, посвященных проблемам поведенческой ана-

литики, а также текущих разработок в данной области, произведена оценка возможности создания универсального метода прогнозирования поведения объектов в информационной инфраструктуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 59547-2021 Национальный стандарт Российской Федерации. Защита информации. Мониторинг информационной безопасности. Общие положения — Введ. 2022-04-01. М.: Стандартинформ, 2022
2. C. Chio, D. Freeman Machine Learning & Security PROTECTING SYSTEMS WITH DATA AND ALGORITHMS. — First Release изд. — Sebastopol: O'Reilly Media, Inc., 2018. — (Chapter 2, Papper 25–29, 32–34, 35–37).
3. UNDERSTANDING INDICATORS OF COMPROMISE (IOC) PART I // RSA URL: <https://web.archive.org/web/20170914034202/https://blogs.rsa.com/understanding-indicators-of-compromise-ioc-part-i/> (дата обращения: 17.11.2023).
4. UEBA-системы: что это, принципы работы, обзор рынка // Инсайдер.рф URL: https://инсайдер.рф/news/ueba_sistemy/ (дата обращения: 31.01.2024).
5. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU // eLIBRARY.RU URL: <https://elibrary.ru> (дата обращения: 12.11.2023).
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. — 12 изд. — М.: Юрайт, 2016. — 480 с.
7. Емелина, А.А. Исследование действий пользователей в информационной среде / А.А. Емелина, Н.Е. Карпова, А.А. Саранский // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2023. — Т. 6. — С. 50–57.
8. Doug White. Three Key Areas in Active Directory Security/ Security Weekly. URL: <https://securityweekly.com/2018/09/06/three-key-areas-in-active-directory-security/> (дата обращения 02.11.2023).
9. Кудинов Ю.И., Кудинов И.Ю. Нечеткое моделирование и кластеризации // Пробл. управл., — 2008, выпуск 6, 2–10.
10. Мохорев, Д.Е. Применение метода нечеткой кластеризации для ранжирования индикаторов компрометации по уровню потенциальной угрозы / Д.Е. Мохорев // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2021) : Сборник научных трудов XXIV Международной научной конференции, Москва, 02–03 декабря 2021 года / Под научной редакцией Ю.Ф. Тельнова. — Москва: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2022. — С. 371–375.
11. Саенко, И.Б. Обнаружение аномальных запросов к базам данных на основе методов машинного обучения / И.Б. Саенко, М.Х. Аль-Барри // Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал. — 2021. — Т. 2, № 12. — С. 75–79.
12. Куприенко Н.В., Пономарева О.А., Тихонов Д.В. Статистика. Временные ряды. Анализ тенденций и прогнозирование. — 1 изд. — СПб: Издательство Политехнического университета, 2015. — 123 с.
13. Семенов, В.В. Модель и метод оценивания защищенности киберфизических систем от информационных угроз на основе анализа временных рядов: специальность 23.60.00: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Семенов Виктор Викторович, 2022. — 133 с.
14. 2023 Market Guide for Insider Risk Management Published 13 November 2023 // Gartner URL: <https://www.gartner.com/en/documents/4931631> (дата обращения: 14.11.2023).
15. Q3 2022 Threat Landscape: Insider Threat, The Trojan Horse of 2022
16. 2023 Cyberthreat Defense Report // CyberEDGE URL: <https://cyber-edge.com/cdr/> (дата обращения: 14.10.2023).

© Мохорев Дмитрий Евгеньевич (mohorev@rea.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА «РЕЙТИНГ КЛИЕНТА» В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ «ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРУЗКИ ИНФРАСТРУКТУРЫ»

INVESTIGATION OF THE FACTORS INFLUENCING THE «CUSTOMER RATING» IN THE AUTOMATED SYSTEM «DYNAMIC MODEL OF INFRASTRUCTURE LOADING»

A. Potekhina
A. Potekhina
N. Dekanova

Summary. During the period of a significant increase in cargo traffic to the regions of the Far Eastern region, the issue of the accuracy of transportation planning, taking into account the possibility of infrastructure, becomes the most urgent. One of the solutions to this problem was the creation of a program in the automated system «Dynamic Infrastructure Loading Model» (DMZI), the purpose of which is to ensure the stability of the transportation process, improve the quality of operational activities and cargo transportation planning due to the balanced capabilities of the infrastructure of the consignees and JSC «Russian Railways» with the volumes of approval of applications form GU-12. However, the issue of determining the volume of approval of applications for one or another client has not been resolved. How close are the actual loading (unloading) capabilities of the client to the declared volumes in the AS ETRAN system? Is the customer ready to ship products according to the specified delivery schedule? These issues arise when agreeing on the upcoming monthly transportation volume plan and directly depend on the quality characteristics of the client, or the client's rating. The purpose of the work is to determine the main coefficients that affect the client's rating for the Russian Railways holding company for further decision-making on the approval of loading plans for the upcoming month.

Keywords: DMZI, application form GU-12, AS ETRAN, shipper, consignee, monthly transportation volume plan, limiting directions.

Потехина Александра Михайловна

Аспирант, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
alexandra-2018@mail.ru

Потехина Анна Михайловна

к.э.н., доцент, ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
potekhina_am@mail.ru

Деканова Нина Петровна

д.т.н., профессор кафедры
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет путей сообщения»
nina.dekanova@yandex.ru

Аннотация. В период значительного увеличения грузопотока в районы Дальневосточного региона наиболее актуальным становится вопрос точности планирования перевозок с учетом возможности инфраструктуры. Одним из вариантов решения данной проблемы стало создание программы в автоматизированной системе «Динамическая модель загрузки инфраструктуры» (ДМЗИ), целью которой является обеспечение стабильности перевозочного процесса, повышение качества эксплуатационной деятельности и планирования грузовых перевозок за счет сбалансированных возможностей инфраструктуры грузополучателей и ОАО «РЖД» с объемами согласования заявок форма ГУ-12. Однако, не решен вопрос относительно определения объемов согласования заявок тем, или иным клиентам. Насколько приближены реальные возможности погрузки (выгрузки) клиента к заявленным объемам в системе АС ЭТРАН? Готов ли клиент отгружать продукцию согласно, указанному графику подачи? Данные вопросы возникают при согласовании предстоящего месячного плана объема перевозок и напрямую зависят от качественной характеристики клиента, или рейтинга клиента. Целью работы является определение основных коэффициентов, влияющих на рейтинг клиента для холдинга ОАО «РЖД» для дальнейшего принятия решения о согласовании планов погрузки на предстоящий месяц.

Ключевые слова: ДМЗИ, заявка формы ГУ-12, АС ЭТРАН, грузоотправитель, грузополучатель, месячный план объема перевозок, лимитирующие направления.

На текущий момент холдинг ОАО «РЖД» работает в весьма жестких условиях. В Долгосрочной программе развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года предусмотрено увеличение провозной способности Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей до 180 млн тонн к 2024 году. Развитие инфраструктуры, строительство новых и реконструкция старых объектов должны обеспечить пропуск за-

данного объема. Но, при этом необходимо учитывать, что проведение «окон» неизменно связано с вынужденным ограничением в продвижении вагонопотока [1]. Изменение направленности вагонопотоков с западного направления на восток усложнило ситуацию. Теперь, переориентация погрузочных объемов и загруженность Восточного полигона, как следствие, стали серьезной эксплуатационной проблемой. Вариантом решения может служить повышение точности плани-

рования погрузки в автоматизированной программе ДМЗИ [2,3].

Согласно Методике проведения рейтинговой оценки железных дорог в перечне ключевых показателей деятельности и весовых коэффициентов для рейтинговой оценки железных дорог наибольший весовой коэффициент имеют: «Безопасность и надежность» (25 %), «Выручка, начисленная от грузовых перевозок (по моменту отправления) и от предоставления услуг инфраструктуры при грузовых перевозках» (10 %), «Себестоимость перевозок» (10 %), «Погрузка грузов» (10 %). А на что уходят остальные 45 %? На основании Методики определения рейтинга территориальных центров фирменного транспортного обслуживания немаловажную роль играет точность планирования, а именно показатели «Точность формирования проекта плана выручки, начисленной по перевозочным видам деятельности (по моменту отправления) (интервал выполнения $\pm 10\%$)» и «Точность формирования проекта плана погрузки грузов (интервал выполнения $\pm 5\%$)». На текущий момент показатель «Точность формирования проекта плана погрузки грузов» находится в интервале $\pm 3\%$ [4].

С начала 2022 года грузоотправители на Восточно-Сибирской железной дороге столкнулись с проблемой согласования заявок формы ГУ-12 в системе АС ЭТРАН. Переориентация вагонопотоков и, как следствие, возросшая загруженность Восточного полигона поставили перед компанией ОАО «РЖД» вопрос о том кому, как и в каком объеме согласовывать погрузочные объемы. Клиенты стремятся «ввести» в систему АС ЭТРАН как можно больший план в расчете на согласование его в наибольшей мере. И даже штрафные санкции за невыполнение заявки формы ГУ-12 не так страшат грузоотправителя, как отсутствие возможности оформить свой груз. Аналитика представлена в таблице № 1.

В графе «Заявлено ваг. ср/сут.» показано желание клиента погрузить такой объем, в графе «Принято ваг. ср/сут.» указаны согласованные данные ОАО «РЖД», другими словами, этот объем компания готова принять и перевезти. В графе «Погружено ваг/конт. ср/сут.» представлены фактические погрузочные данные. Таким образом, явно прослеживается тенденция заведомого увеличения поданных клиентом заявок формы ГУ-12. Как в данном случае оценить реальные возможности грузоотправителя? Как сохранить, а лучше повысить точность планирования?

Создание Технологии работы Динамической модели загрузки инфраструктуры ОАО «РЖД» при реализации процесса согласования заявок на перевозку грузов и запросов-уведомлений на перевозку порожних грузовых вагонов преследовало следующую цель — автоматическое определение возможности согласования заявок

Таблица 1.

Соотношение поданных заявок ф. ГУ-12 в системе АС ЭТРАН к фактически оформленным вагонам

| Год | Заявлено ваг. ср/сут. | Принято ваг. ср/сут. | Принято/Заявлено, % | Погружено ваг/конт. ср/сут. | Погружено/Принято, % |
|------|-----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------|
| 2018 | 51 501,22 | 43 885,75 | 85,21 % | 36 207,03 | 82,50 % |
| 2019 | 52 054,62 | 44 072,98 | 84,67 % | 36 360,36 | 82,50 % |
| 2020 | 63 415,91 | 43 433,24 | 68,49 % | 35 680,62 | 82,15 % |
| 2021 | 120 080,47 | 45 199,73 | 37,64 % | 35 329,36 | 78,16 % |
| 2022 | 234 053,58 | 46 990,28 | 20,08 % | 35 573,71 | 75,70 % |
| 2023 | 200 361,51 | 46 371,85 | 23,14 % | 36 247,82 | 78,17 % |

формы ГУ-12, поданных грузоотправителем или отправителем порожних вагонов, с учетом возможностей и загрузки элементов инфраструктуры по маршруту следования грузовых отправок в соответствии с указанными датами перевозки [5]. Но, к сожалению, на текущий момент не создан алгоритм определения «лучшего» клиента, и ситуация может сложиться так, что объемы будут согласовываться клиентам, не имеющим возможности погрузить заявленный объем. На текущий момент в программе ДМЗИ создан модуль «Коэффициент надежности клиента». На взгляд авторов расчет производится в весьма приближенном варианте. Коэффициент надежности клиента представлен соотношением погруженных вагонов к согласованным данным (рис. 1).

Предлагается построить работу по этапам:

I этап — создание экспертной группы, определение показателей, влияющих на согласование ф. ГУ-12;

II этап — описание Методических указаний к определению «лучшего» клиента;

III этап — оценка показателей, определение весовых норм;

IV этап — ранжирование показателей;

Для анализа клиентов и выстраивания модели, определяющей «лучшего» клиента, необходимо рассмотреть номенклатуру перевозимого груза и требования, которые предъявляются к грузоотправителям (клиентам), относящимся к крупным представителям бизнеса, средним и мелким.

Восточно-Сибирская железная дорога проходит по территории Иркутской области, республики Бурятия, Забайкальского края и частично республики Саха (Якутия). Современную промышленную структуру региона представляют несколько базовых отраслей: электроэнергетика, лесопромышленный и нефтехимический

dm-zi.rzd Коэффициент надежности клиента - Динамическая модель загрузки инфраструктуры

Пассажирские пере: Перевозочный и ло: Инфраструктура, ин: Корпоративные сист:

Динамическая модель загрузки инфраструктуры → Коэффициент надежности клиента

Месяц: Январь Клиент: Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" Q

Год: 2024

Сформировать

| Дата | Наименование клиента | Станция отправления | Станция назначения | Группа груза | Согласовано, ваг | Погружено, ваг | Козф. выполнения заявленных клиентом объемов |
|-------------|--|---------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|----------------|--|
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | БАЙКАЛЬСК | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 12 | | 0 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | БОРЗА | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 6 | 6 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ВАНИНО (ЭКСП.) | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 4020 | 3692 | 0,92 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ГОРХОН | ОСТАЛЬНЫЕ И СБОРНЫЕ ГРУ... | | 44 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ДИВИЗИОННАЯ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 91 | 71 | 0,78 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ЗАБАЙКАЛЬСК (ЭКСП.ЮЖД) | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 1218 | 1206 | 0,99 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ЗАГУСТАЯ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 1005 | 902 | 0,9 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ЗАОЗЕРНАЯ | ОСТАЛЬНЫЕ И СБОРНЫЕ ГРУ... | 8 | 8 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ЗАУДИНСКИЙ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 381 | 386 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | КАДАЛА | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 15 | 15 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | МАККАБЕЕВО | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 2 | 2 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | МЕДВЕДИЧКОВО | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 59 | 63 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | МИХАЙЛО-СЕМЕНОВСКАЯ (ЭКСП) | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 1284 | 1214 | 0,95 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | МОГОЙТУЙ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 7 | 7 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | МОГОЧА | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 1 | 1 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | МУРМАНСК (ЭКСП.) | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 0 | | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | МЫС АСТАФЬЕВА (ЭКСП.) | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 696 | 638 | 0,92 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | НАХОДКА-ВОСТОЧНАЯ (ЭКСП.) | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 4404 | 2508 | 0,57 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ПРИСКОВАЯ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 14 | 14 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | САЯНТУЙ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 15 | 2 | 0,13 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | СЕЛЕНГА | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 14 | 5 | 0,36 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ТИМЛЮЙ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 93 | 93 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | УЛАН-УДЭ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 1097 | 1130 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | УЛАН-УДЭ | ОСТАЛЬНЫЕ И СБОРНЫЕ ГРУ... | | 10 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ХАРАНХОЙ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 37 | 24 | 0,65 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ЧЕЛУТАЙ | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 2 | 2 | 1 |
| Январь 2024 | Акционерное Общество "Разрез Тугнуйский" | ЧЕЛУТАЙ | ЧИТА 1 | КАМЕННЫЙ УГОЛЬ | 10 | 10 | 1 |

Рис. 1. Пример расчета коэффициента надежности клиента в ДМЗИ

комплексы, цветная металлургия, горнодобывающий комплекс, машиностроение и металлообработка, производство строительных материалов и др. Эта структура существенно отличается от среднероссийской более высоким удельным весом сырьевых и энергоемких отраслей и более низким удельным весом — предприятий, ориентированных на удовлетворение конечного потребительского спроса. Кроме этого, Восточная Сибирь значительно удалена от рынков потребления произведенной продукции, поэтому железнодорожный транспорт играет ключевую роль в экономике регионов присутствия. По данным территориальных органов Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области и Республике Бурятия в структуре грузооборота (без учета трубопроводного транспорта) доля железнодорожного транспорта по Иркутской области составляет 97 %, по Республике Бурятия — 99,2 %. Долгосрочные стратегии развития регионов тяготения к Восточно-Сибирской железной дороге предусматривают увеличение потребности в грузовых перевозках. Особенно это касается Иркутской области, где реализуется целый ряд крупных инвестиционных проектов: развитие газового бизнеса ООО «Иркутская нефтяная компания», строительство Тайшетского алюминиевого завода, Тайшетской анодной фабрики, Братского металлургического завода, завода по розливу природной байкальской воды в п. Култук, Удоканского месторождения меди и др. Почти вся территория Республики Бурятия входит в Байкальскую природную территорию и стратегическим вектором развития региона признан туризм [6, 7, 8]. При этом прогнозируется рост погрузки за счет предприятий

угольной промышленности и лесопромышленного комплекса. Таким образом, клиентов в первую очередь планируется ранжировать по отгружаемой номенклатуре груза. В практическом примере взяты представители целлюлозно-бумажной промышленности.

Рейтинговая оценка клиентов (грузоотправителей) устанавливает единые принципы и подходы к определению точности и достоверности планирования клиентами планов погрузки на предстоящий период. Итоговым результатом является:

- ранжирование клиентов на уровни лояльности: золотой, серебряный, обычный для оценки реальных возможностей потребителей в зависимости от точности планирования;
- использование инфраструктурных возможностей при выполнении перевозочного процесса в полном объеме;
- создание условий для беспрепятственного пропуска по сети ОАО «РЖД».

Цели проведения рейтинговой оценки клиентов (грузоотправителей):

- использование результатов рейтинговой оценки для планирования месячного, квартального, годового планов погрузок;
- проведение сравнительного анализа эффективности планирования клиентов;
- использование результатов рейтинговой оценки для мотивации клиентов и прозрачности системы планирования (соблюдение условий недискриминационного доступа к сети).

Рейтинговая оценка клиентов (грузоотправителей) осуществляется с учетом следующих принципов:

- комплексности, в соответствии с которым рейтинговая оценка определяется с учетом многофакторных составляющих;
- объективности, в соответствии с которым рейтинговая оценка строится преимущественно на объективных статистических и учетных показателях;
- сбалансированности, в соответствии с которым перечень переменных должен отвечать целям и задачам Методики;
- достоверности, в соответствии с которым используемые статистические и учетные данные должны объективно отражать степень точности планирования;
- сопоставимости, в соответствии с которым используемые при рейтинговой оценке данные сопоставимы во времени.

Предполагается, что рейтинг достоверности (коэффициент надежности клиента) — это числовой показатель оценки плановых параметров предоставляемой грузоотправителями информации на плановый период участников перевозочного процесса. Он является инструментом оценки качества предоставляемой информации участниками перевозочного процесса и используется при согласовании объема перевозок на разных периодах планирования.

На первом этапе создана фокус-группа, в которую вошли представители руководителей и работников из технологических служб, территориальных центров фирменного транспортного обслуживания Восточно-Сибирской и Октябрьской железных дорог, а также представители клиентов.

Отмечено, что после проведения экспертного анализа, причины невыполнения плана погрузки имеет смысл разделить на блоки:

- по причинам клиента — техническая, технологическая составляющая (исправность оборудования и других систем, наличие требуемого объема груза), коммерческая деятельность (договорные отношения, поставки грузополучателя того объема, который прописан в контракте, договоре);
- по причинам перевозчика — инфраструктурные ограничения, проведение ремонтно-строительных работ («окна»), неприем поезда соседней железной дорогой, неправильная регулировка и т.д.

При расчете рейтинга клиента необходимо нивелировать влияние причин, допущенных по вине перевозчика.

Сфера ответственности Клиента (грузоотправителя):

k_1 — коэффициент маршрутизации. Повышение доли груза, перевезенного отправительскими маршрутами от общего объема перевозок, снижает себестоимость перевозки (себестоимость 1 т-км.), способствует увеличению скоростей и, прежде всего, общей скорости доставки грузов. Коэффициент имеет прямую зависимость (чем выше коэффициент маршрутизации, тем выше рейтинг клиента (грузоотправителя)).

k_2 — коэффициент направлений. Находится в зависимости от предпочтительных направлений перевозчика (наиболее выгодных). Носит прямо пропорциональный характер. Так, в случае выбора маршрута, проходящего по грузонапряженным участкам рейтинг может либо оставаться на прежнем уровне, либо снижаться. В случае выбора приоритетного для перевозчика направления рейтинг повышается.

k_3 — коэффициент появления нового продукта. Появление новых месторождений, производство нового вида продукции носит объемный характер и влияет на конечный итог фактической погрузки (суточной, месячной, годовой). Повышение погрузки положительно влияет на финансовую составляющую компании ОАО «РЖД», привлечение дополнительного дохода укрепляет экономическую платформу. Находится в зависимости с коэффициентом направлений.

k_4 — коэффициент равномерности предъявления груза и погрузки (соответствие СКПП — форма ГУ-12). Учитывает равномерное предъявление груза по объемам и датам согласно заявленным ранее данным.

k_5 — коэффициент маржинальности, или доходности груза. Учет доходной ставки в зависимости от класса перевозимого груза. Влияние на финансовую стабильность компании.

k_6 — коэффициент переключения из вагонов в контейнеры. Учитывает удобство организации погрузо-выгрузочных работ, формирование контейнерных поездов носит преимущественно положительный характер.

k_7 — коэффициент внутренней технологичности производства. Учитывает соблюдение сроков планирования и реализации плановых видов ремонта, профилактики производственных мощностей.

k_8 — коэффициент географической принадлежности. Учитывает удобство вывода маршрута со станции отправления.

k_9 — коэффициент формирования маршрутов на собственных (арендованных) путях. Учитывает удобство формирования маршрутов на собственных (арендованных) путях.

Таблица 2.

Экспертные оценки показателей, влияющих на перевозочный процесс

| Эксперт | Балл | | | | | | | | |
|---------|----------------------|--------------------|----------------------------------|--|-----------------------|---|--|--------------------------------------|---|
| | маршрутизации, k_1 | направлений, k_2 | появления нового продукта, k_3 | равномерности предъявления и погрузки (соответствие СКПП ГУ-12), k_4 | маржинальности, k_5 | переключения из вагонов в контейнера, k_6 | внутренней технологичности производства, k_7 | географической принадлежности, k_8 | формирования маршрутов на собственных (арендованных) путях, k_9 |
| № 1 | 9 | 10 | 7 | 10 | 10 | 3 | 7 | 2 | 6 |
| № 2 | 9 | 10 | 6 | 10 | 10 | 4 | 8 | 3 | 6 |
| № 3 | 10 | 10 | 6 | 10 | 8 | 5 | 8 | 5 | 9 |
| № 4 | 10 | 10 | 6 | 10 | 8 | 6 | 8 | 5 | 8 |
| № 5 | 8 | 9 | 5 | 10 | 7 | 3 | 8 | 4 | 7 |
| № 6 | 8 | 9 | 7 | 10 | 10 | 3 | 7 | 4 | 7 |
| № 7 | 8 | 7 | 8 | 10 | 6 | 5 | 10 | 4 | 7 |

Для проведения опроса в части выявления показателей от наиболее важных (в наибольшей степени, влияющие на перевозочный процесс) до наименее (незначительное влияние), составлены чек-листы с детальным описанием проведения процедуры. Условные баллы определены по десятибалльной шкале и расставлялись от 10 (очень важно) — 1 балл (незначительное влияние) (таблица 2).

Экспертные оценки значимости показателей перевозочного процесса приведены в таблице 3.

Очевидно, что выполняется следующее условие:

$$V_j = \sum_{i=1}^n vk_{i,j} = 1, \forall j = 1, \dots, m$$

Обработка результатов опроса экспертов. На базе

оценок экспертов получается обобщенная информация об исследуемом объекте (явлении) и формируется решение, задаваемое целью экспертизы (2). В случае участия в опросе нескольких экспертов расхождения в их оценках неизбежны, однако величина этого расхождения имеет важное значение. Групповая оценка может считаться достаточно надежной только при условии хорошей согласованности ответов отдельных специалистов. Для анализа разброса и согласованности оценок применяются статистические характеристики — меры разброса.

Вариационный размах:

$$(R) = x_{\max} - x_{\min}$$

Средне-квадратическое отклонение, вычисляемое по известной формуле:

Таблица 3.

Экспертные оценки значимости показателей, влияющих на перевозочный процесс

| Эксперт | Вес | | | | | | | | |
|---------|-----------------------|---------------------|-----------------------------------|---|------------------------|--|---|---------------------------------------|--|
| | маршрутизации, vk_1 | направлений, vk_2 | появления нового продукта, vk_3 | равномерности предъявления и погрузки (соответствие СКПП ГУ-12), vk_4 | маржинальности, vk_5 | переключения из вагонов в контейнера, vk_6 | внутренней технологичности производства, vk_7 | географической принадлежности, vk_8 | формирования маршрутов на собственных (арендованных) путях, vk_9 |
| № 1 | 0,25 | 0,25 | 0,05 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,05 |
| № 2 | 0,1 | 0,1 | 0,03 | 0,5 | 0,1 | 0,04 | 0,06 | 0,04 | 0,03 |
| № 3 | 0,3 | 0,35 | 0,02 | 0,15 | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 0,01 | 0,04 |
| № 4 | 0,1 | 0,29 | 0,01 | 0,4 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,06 |
| № 5 | 0,1 | 0,3 | 0,05 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| № 6 | 0,1 | 0,2 | 0,01 | 0,4 | 0,19 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 |
| № 7 | 0,5 | 0,2 | 0,01 | 0,01 | 0,1 | 0,01 | 0,02 | 0,1 | 0,05 |

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - S_{cp})^2}{n - 1}} = 15,26,$$

$$S_i = \sum_{j=1}^m k_{i,j} = (62, 65, 45, 70, 59, 29, 56, 27, 50),$$

$$S_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n S_i = 51,44,$$

$$S = \sum_{i=1}^n (S_i - S_{cp})^2 = 1862,22,$$

где m — количество экспертов: n — количество коэффициентов.

Коэффициент конкордации определяется следующим образом:

$$W = \frac{12 \cdot S}{m^2(n^3 - n)} = 0,63.$$

Значение коэффициента конкордации превышает 0,5, что говорит о том, что согласованность мнений экспертов вполне достаточна. Значимость величины конкордации W оцениваем по критерию Пирсона (Хи-квадрат) [11]. Эмпирическое значение критерия χ^2 получаем, умножением коэффициента конкордации W на количество экспертов (m) и на число степеней свободы ($n-1$). следующей формулы:

$$\chi^2 = W \cdot m \cdot (n - 1) = 35,47.$$

Значения критерия Пирсона составляют при 1 % уровне значимости 20,1, а при 5 % — 15,5. Критические

Таблица 4.

Весовые категории показателей

| Коэффициент | Средний балл, F_i | Средний вес, G_i |
|---|---------------------|--------------------|
| равномерности предъявления и погрузки (соответствие СКПП — ф. ГУ-12), k_4 | 10,000 | 0,251 |
| направлений, k_2 | 9,285 | 0,241 |
| маршрутизации, k_1 | 8,857 | 0,207 |
| маржинальности, k_3 | 8,428 | 0,103 |
| внутренней технологичности производства, k_7 | 8,000 | 0,034 |
| формирования маршрутов на собственных (арендованных) путях, k_9 | 7,143 | 0,044 |
| появления нового продукта, k_3 | 6,428 | 0,025 |
| переключения из вагонов в контейнеры, k_6 | 4,143 | 0,05 |
| географической принадлежности, k_8 | 3,857 | 0,043 |

значения Пирсона меньше эмпирического значения 35,47, следовательно, коэффициент конкордации W значим при доверительных вероятностях 0,99 и 0,95.

Исходя из расчетов видно, что коэффициент конкордации имеет высокое значение и можно говорить о согласованности мнений экспертов [9].

Таким образом, весовые категории распределились следующим образом (таблица 4).

Средние баллы и весовые коэффициенты определяются исходя из следующих формул:



Рис. 2. Диаграмма упорядоченности коэффициентов по среднему баллу

$$F_i = \frac{S_i}{m},$$

$$G_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m yk_{i,j}.$$

Вывод

В программе ДМЗИ появился показатель «Коэффициент надежности клиента», но его расчет считается приблизительным. Он определяется соотношением количества погруженных вагонов (за месяц) к количеству вагонов в согласованной заявке ф. ГУ-12 (система АС ЭТРАН НП). Для анализа клиентов и построения модели, определяющей «лучшего» клиента для компании, необходимо учитывать номенклатуру перевозимых

грузов, технологии перевозочного процесса и требования к грузоотправителям относительно равномерности предъявления груза к перевозке. В целях получения достоверной информации была создана экспертная группа, в которую входили представители территориальных центров фирменного транспортного обслуживания Октябрьской и Восточно-Сибирской железных дорог, а также специалисты технологических служб. В результате коэффициенты были ранжированы по значимости для холдинга ОАО «РЖД». В дальнейшем предлагается использовать данные при согласовании заявок ф. ГУ-12 на предстоящий месяц с использованием вышеуказанных коэффициентов для повышения точности и объективности при принятии решения в системе планирования перевозочного процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенберг Е.Н., Батраев В.В. О стратегии развития цифровой железной дороги // Бюл. Объедин. ученого совета ОАО «РЖД». 2018. № 1. С. 9–27.
2. Вельмина А.А. Реализация платформенного подхода ОАО «РЖД» в сфере грузовых перевозок и логистики // Проблемы развития предприятий: теория и практика. 2019. № 1–2. С. 216–219.
3. Вельмина А.А. Клиентоориентированность при создании новых цифровых платформ ОАО «РЖД» // Проблемы развития предприятий: теория и практика. 2018. № 3. С. 12–16.
4. Филина В.Н. Современные подходы к оценке эффективности транспортных проектов / В.Н. Филина // Проблемы прогнозирования. — 2020. — № 2 (179). — С. 128–136.
5. Об утверждении Порядка взаимодействия Центра фирменного транспортного обслуживания и Центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом при оказании комплексной транспортной услуги. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/420361000> (дата обращения: 24.03.2024)
6. Никифоров В.В., Никифорова Г.И. Цифровизация железнодорожного транспорта с участием операторских компаний // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2022. №4. С. 736–742.
7. Волков А.В. Повышение эффективности экспортных перевозок грузов на базе информационного взаимодействия участников перевозочного процесса // Альманах мировой науки. 2018. № 3 (23). С. 49–57.
8. Черняев А.Г. Развитие полигонных технологий перевозок на основе совершенствования логистического управления вагонопотоками в границах нескольких дорог / А.Г. Черняев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2017. — № 2 (66). — С. 75–82.
9. Грешилов А.А. Математические методы принятия решений. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 584 с.
10. Горяинов В.Б., Павлов И.В., Цветкова Г.М., Тескин О.И. Математическая статистика — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. — 424 с.
11. Богинич, А.В. Учебное пособие по высшей математике / А.В. Богинич, М.А. Двинина, В.А. Телешев. — Екатеринбург: Изд. УГМА, 2007. — 82 с.

© Потехина Александра Михайловна (alexandra-2018@mail.ru); Потехина Анна Михайловна (potekhina_am@mail.ru);

Деканова Нина Петровна (nina.dekanova@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ФУНКЦИИ ТРАНСФОРМАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО АВТОРСКОМУ СТИЛЮ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE TOOL
FOR REALIZING THE FUNCTION
OF IMAGE TRANSFORMATION
BY AUTHOR'S STYLE BASED ON MACHINE
LEARNING ALGORITHMS

**A. Rusakov
V. Solovyova
I. Rakhimov
I. Vorobyov
V. Filatov**

Summary. This article presents a study on the development of a tool for realizing the function of image transformation by author's style on the basis of machine learning algorithms. The research materials contain a detailed description of the choice of the architecture of the developed system, its implementation features, as well as the description of the main modules and functions of the developed software. The main tasks are formulated, methods and algorithms to be considered in the development are identified.

Keywords: image transformation, machine learning.

Русаков Алексей Михайлович

старший преподаватель, МИРЭА — Российский
технологический университет
rusal@bk.ru

Соловьева Вероника Антоновна

МИРЭА — Российский технологический университет
solovieva.veronika00@mail.ru

Рахилов Игорь Русланович

МИРЭА — Российский технологический университет
rakhilov@bk.ru

Воробьев Иван Алексеевич

МИРЭА — Российский технологический университет
vorobev_i_a@mail.ru

Филатов Вячеслав Валерьевич

кандидат технических наук, доцент,
МИРЭА — Российский технологический университет
filv@mail.ru

Аннотация. В данной статье представлено исследование по разработке инструмента для реализации функции трансформации изображений по авторскому стилю на основе алгоритмов машинного обучения. Материалы исследования содержат подробное описание выбора архитектуры разрабатываемой системы, ее особенности реализации, а также описание основных модулей и функций разрабатываемого программного обеспечения. Сформулированы основные задачи, выявлены методы и алгоритмы, которые необходимо учесть при разработке.

Ключевые слова: трансформация изображений, машинное обучение.

На сегодняшний день обработка медиа данных, в зависимости от того, статические это изображения, видео или даже онлайн видео — трансляции в реальном времени, является очень актуальной темой. Объемы медиа растут, соответственно, необходимость в их обработке также увеличивается. Многие из нас используют средства обработки изображений и видео в своей повседневной жизни, ведя блог в Instagram, Twitter, Facebook или YouTube. Такие параметры как скорость и автоматизация процесса обработки медиа делают подобные сервисы удобным и легким в использовании, но в то же время накладывают определенные ограничения.

Однако за помощью в подобных ситуациях можно обратиться к специализированному профессиональному программному обеспечению обработки медиа данных, например, такому как Adobe Photoshop, Sony Vegas Pro

и др. Но использование подобных программных средств требует определенных навыков работы, поскольку имеет под собой ручную обработку и редактирование данных, что повышает для конечных пользователей порог вхождения и увеличивает трудозатраты в несколько раз.

Средством автоматизации определенных рутинных действий пользователя по обработке изображений и видео могут выступать алгоритмы машинного обучения, а именно — нейронные сети. С помощью нейронных сетей можно автоматизировать такие процессы обработки изображений как комплексное улучшение качества изображения, цветокоррекция, наложение стилей и их трансформацию, наложение масок и многое другое, избежав при этом без необходимости ручного редактирования и коррекции медиа данных.

Таким образом, целью данной работы является создание удобного в использовании для пользователя про-

граммного средства автоматизации художественной обработки изображений методами машинного обучения.

Выбор архитектуры разрабатываемой системы

Поскольку разрабатываемая система прежде всего является программным средством трансформации стиля, при его создании может быть использована абсолютно любая архитектура, ведь в основе лежит алгоритм и средства его обработки, которые являются одинаковыми для любой платформы — Web, Desktop, Mobile или Embedded. Поэтому, разработанное ПО должно быть цельным ядром машинного обучения, которое имеет программный интерфейс (API), созданный таким образом, что будет обеспечено поэтапное выполнение следующей логики работы: запуск с входным изображением или видео, обработка, завершение с исходным трансформируемым изображением или видео.

Трансформатор стиля можно разместить на любой платформе, добавив к нему дополнительное программное обеспечение управления — сервер, плагин или приложение-интерфейс.

Клиент-серверная архитектура подойдет для организации на Web-платформе. Для этого требуется создать среду в виде контейнера Docker с необходимой операционной системой и разместить на нем трансформатор стиля. В свою очередь сервер будет осуществлять управление трансформатором через его программный интерфейс и веб-страницу для доступа и управления пользователем. Соответственно, хостинг должен поддерживать внешние статические адреса. Возможно также совместить трансформатор стиля и сервер в одном процессе, однако это уменьшит общую гибкость системы.

Следующим вариантом платформы является Desktop и Mobile. С архитектурной точки зрения они абсолютно идентичны. Обе имеют под собой высокоуровневую разработку под определенную операционную систему. Так же, как и в Web-платформе, трансформатор стиля будет запускаться как дочерний процесс основного приложения, которой и будет включать в себя графический интерфейс пользователя и всю необходимую бизнес-логику. Такая архитектура называется межпроцессным взаимодействием (рис. 1) [12].

Заключительный вид платформы — это Embedded. Она подразумевает под собой разработку системы на низком аппаратном уровне. В этом также все сводится к межпроцессорному взаимодействию за исключением того, что ресурсы крайне ограничены в совокупности с инструментарием разработки, однако производительность такой системы является высокой.

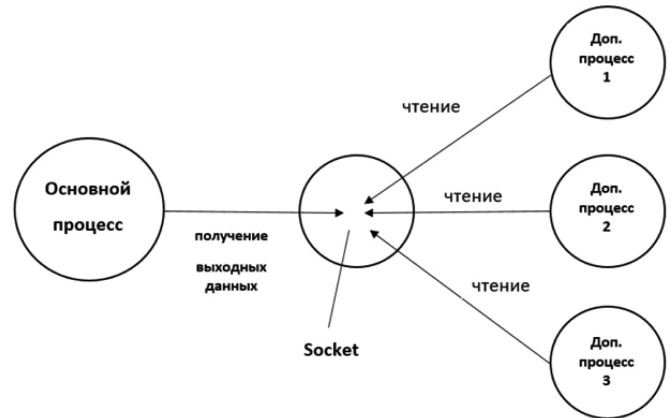


Рис. 1. Общая схема межпроцессорного взаимодействия

Грамотным решением будет использование аппаратного ускорения для трансформатора стиля, в независимости от того, будет это мощный графический процессор или любой специализированный AI-ускоритель.

Исходя из требований кроссплатформенности разрабатываемого трансформатора стиля и простоты реализации готового программного средства, демонстрируя его работу, для разработки была выбрана Desktop платформа. Готовое программное обеспечение должно состоять из кроссплатформенного трансформатора стиля, который будет иметь собственный программный интерфейс и осуществлять запуск благодаря дочернему процессу GUI-приложения. В качестве целевой операционной системой была выбрана Windows.

Особенности реализации системы

К основным особенностям реализации данной системы относятся:

- автономность трансформатора стиля (подразумевает под собой простой и удобный программный интерфейс, в то же время управляющее программное обеспечение может быть любым);
- применение TensorFlow в качестве фреймворка машинного обучения;
- использование аппаратного ускорения на GPU благодаря NVIDIA CUDA и cuDNN;
- использование Qt Framework для создания удобного и стилизованного GUI;
- использование трансформатора стиля в качестве дочернего процесса конечной программной реализации для пользователя;
- возможность трансформации как изображений (поддерживаются форматы PNG, JPG, BMP), так и видео (поддерживается формат MP4) и возможность одновременного просмотра входных и выходных данных для наглядности;
- в качестве входящих и исходящих данных выступает изображение или видео.

Разработка основных алгоритмов программного обеспечения

В сумме в данном модуле представлено 3 основных алгоритма — трансформация изображения, трансформация видео, а также тренировка сети. Подробная схема алгоритмов обучения СНС и трансформации приведена в первой главе с описанием самой модели сети. Ниже изложены лишь последовательность вызова процедур модулей для каждого из алгоритмов на высоком уровне абстракции (рис. 2) (Выполнено в бесплатном онлайн редакторе блок-схем DrawIO). Также стоит обратить внимание, что реализация алгоритмов в коде выглядит довольно простой и небольшой по объему только благодаря высокоуровневому API TensorFlow Estimators.

При этом сама программа не имеет строгого алгоритма выполнения. Есть только определенные потоки вы-

полнения, которые может выбрать пользователь для достижения своих целей, демонстрируемых диаграммой прецедентов, приведенной ниже (рис. 3) (Выполнено в бесплатном онлайн UML редакторе Paradigm).

Разработка структуры программного обеспечения

Модуль *ml_core*

Данный модуль представляет собой непосредственно программное средство, реализующее трансформацию стилей различных изображений и видео. Это набор скриптов на Python, в которых используются вспомогательные модули, такие как: модуль тренировки сети и модули трансформации изображений и видео. Ниже представлена общая структура модуля *ml_core*.

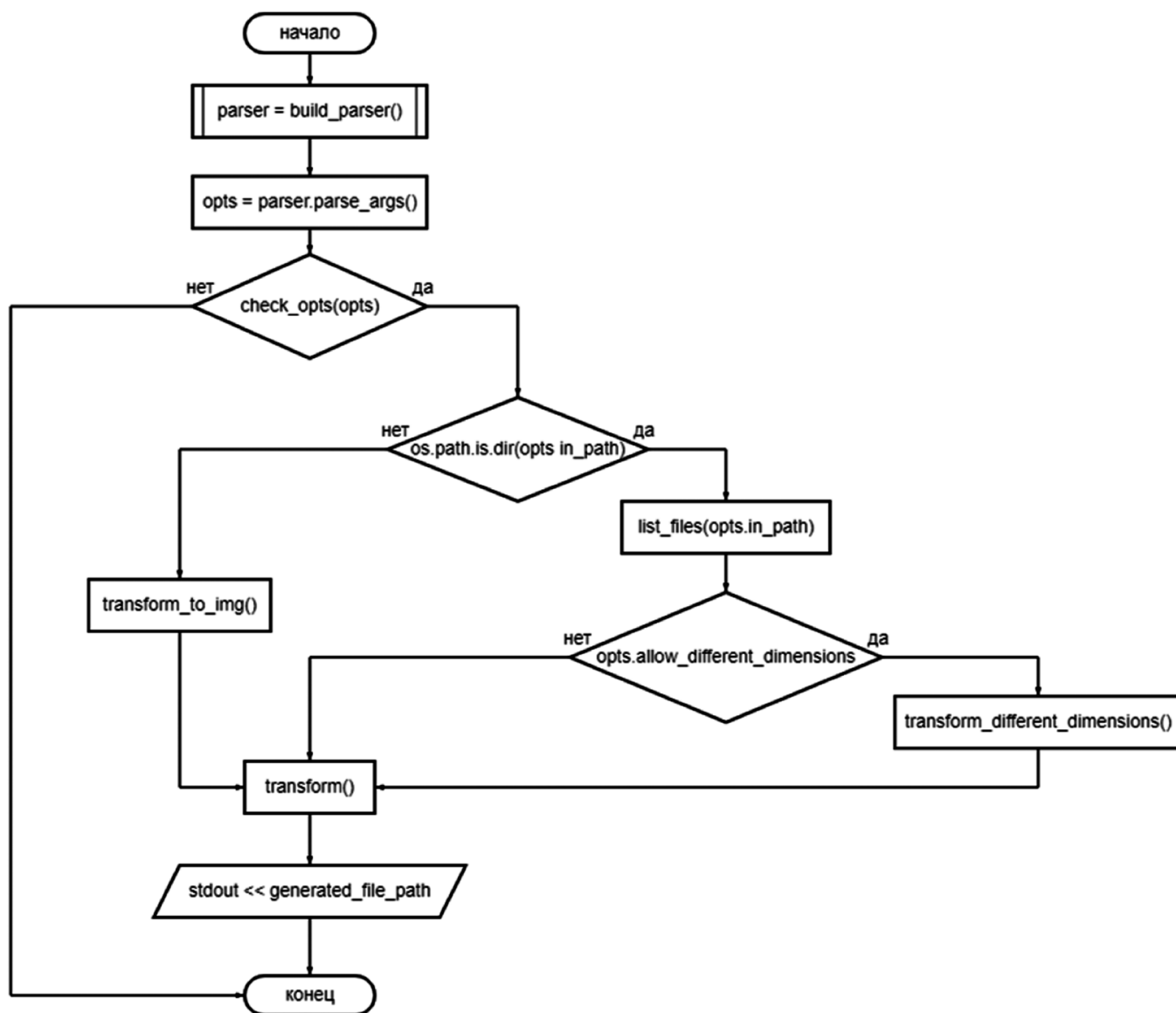


Рис. 2. Алгоритм трансформации изображения

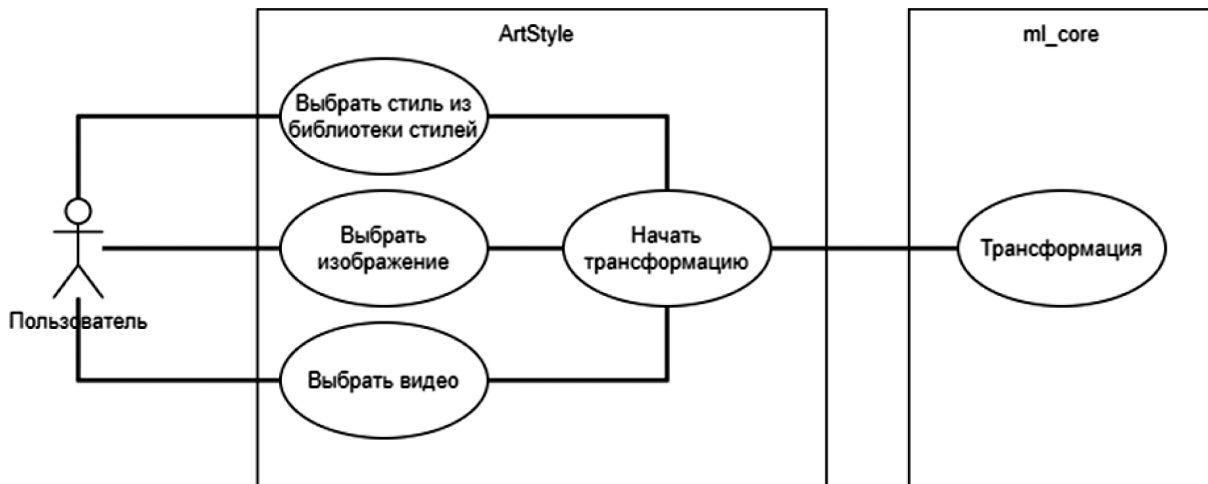


Рис. 3. Диаграмма прецедентов ArtStyle

Исполнительные модули:

- train.py — запускает тренировку новой сети, настроенной под определенный стиль;
- transform_img.py — запускает трансформацию изображения;
- transform_video.py — запускает трансформацию видео;

Вспомогательные модули:

- optimize.py — представляет функцию-оптимизатор для тренировки сети (тренировочная функция);

- transform_cnn.py — представляет СНС;
- utils.py — набор функций-утилит;
- vgg.py — представляет VGG19 сеть.

При разработке данного компонента была использована только процедурная парадигма программирования с классической модульной архитектурой, поскольку алгоритм является линейным и структура модуля достаточно проста. Присутствует выделение главных модулей, которые являются исполнительными и вспомогательных подмодулей (рис. 4) (Выполнено в бесплатном онлайн UML редакторе Paradigm).

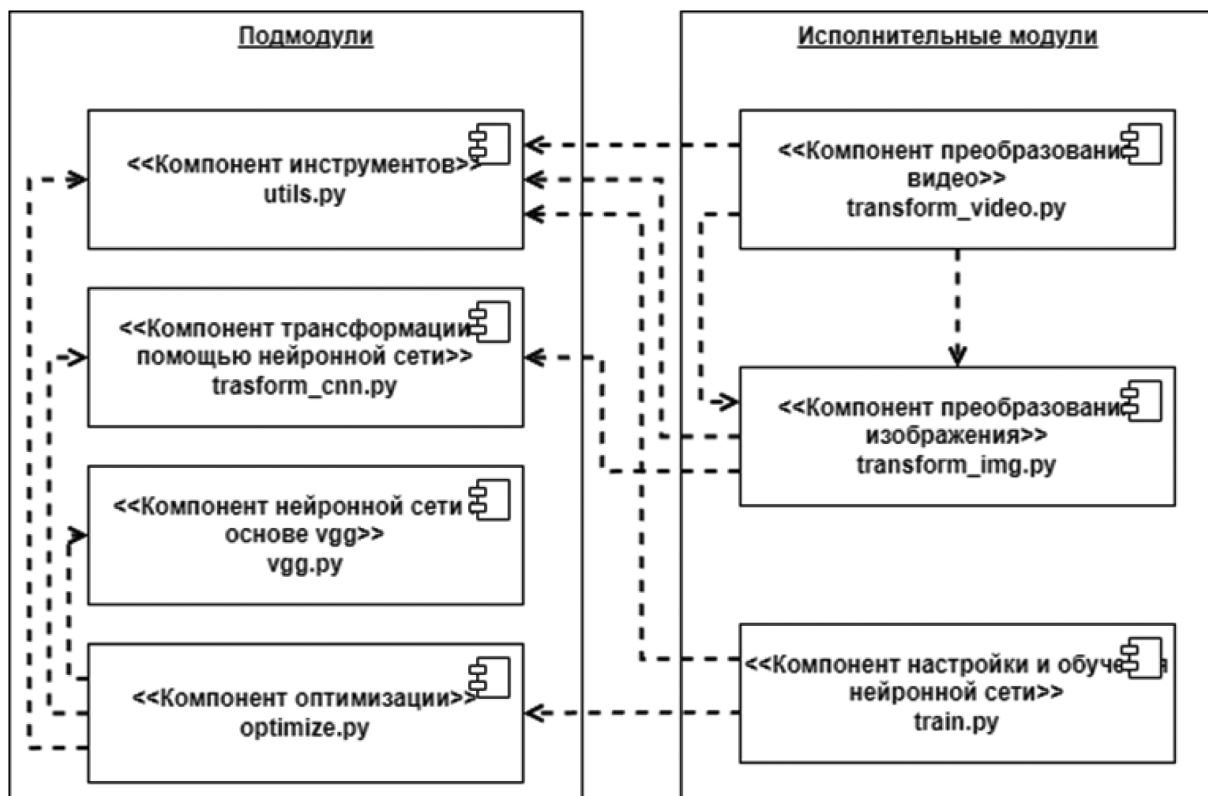


Рис. 4. Диаграмма компонентов ml_core

Модуль qt_gui

Модуль представляет собой GUI-часть для ml_core. Это десктопное приложение, написанное на C++ с использованием Qt Framework, которое демонстрирует базовый пример использования трансформатора стиля. Это один из возможных вариантов реализации пользовательского интерфейса для трансформации стилей изображения и видео. Ниже описана структура программы.

Программа состоит из следующих классов:

- `QStyleTransformator` (`QStyleTransformator.h` и `QStyleTransformator.cpp`) — класс, представляющий все приложение как логическую структуру. Его инициализация и запуск означает запуск всей программы. Он создает замкнутую логическую среду выполнения программы. Инициализируется в `main()` функции, существует там и там же и уничтожается;
- `QMainWnd` (`QMainWnd.h` и `QMainWnd.cpp`) — класс, представляющий собой главное окно программы. Инкапсулирует GUI-часть программы и создает среду для размещения и функционирования компонентов графического интерфейса. `QMainWnd.ui` — UIC-разметка главного окна;
- `QImageViewWdgt` (`QImageViewWdgt.h` и `QImageViewWdgt.cpp`) — потомок класса `QWidget`. Представляет собой собственный разработанный виджет, предназначенный для просмотра изображений. Размещается на главном окне программы. Инкапсулирует в себе весь функционал, связанный с графическим представлением изображения на форме;
- `QVideoPlayerWdgt` (`QVideoPlayerWdgt.h` и `QVideoPalyerWdgt.cpp`) — потомок класса `QWidget`. Представляет собой собственный разработанный виджет, предназначенный для просмотра видео. Размещается на главном окне программы. Инкапсулирует в себе весь функционал, связанный с графическим представлением видео на форме;
- `QTransformApiHandler` (`QTransformApiHandler.h` и `QTransformApiHandler.cpp`) — класс, который имплементирует API трансформатора стиля `ml_core`. Содержит в себе и контролирует дочерний процесс `ml_core`;

Вспомогательные структуры:

- `SConfig` (`SConfig.h` и `SConfig.cpp`) — представляет конфигурацию программы и функционал загрузки. Формат конфигурационных данных — XML;
- `SContext` (`SContext.h`) — представляет глобальный контекст программы. Содержит в себе конфигурацию и определения типов трансформации (в виде `enum`).

Описание основных функций программного обеспечения

Разрабатываемая система состоит из двух блоков:

1. Непосредственно само программное средство трансформации стиля, написанное на языке программирования (ЯП) Python (далее `ml_core` модуль).
2. GUI-часть, написанная на ЯП C++ с использованием Qt Framework (далее `qt_gui` модуль).

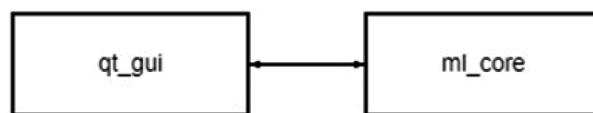


Рис. 5. Общая схема разрабатываемой системы

Каждый из представленных компонентов представляет собой отдельный процесс операционной системы, который в свою очередь взаимодействует с другими аналогичными процессами. Главным процессом является `qt_gui`, дочерним — `ml_core`.

Компонент `qt_gui` представляет собой простое GUI-приложение, реализующее весь основной функционал `ml_core` путем имплементации API последнего. В его состав входят следующие блоки:

- библиотека стилей;
- панель просмотра и трансформации изображений;
- панель просмотра и трансформации видео.

`ml_core` как отдельный компонент системы представляет собой консольное приложение, которое принимает на входе стиль и изображение или видео с дополнительными параметрами, а на выходе предоставляет трансформированное изображение или видео. Данный модуль состоит из следующих компонентов:

- `transform_img.py` — скрипт для запуска трансформации изображения;
- `transform_video.py` — скрипт для запуска трансформации видео;
- `train.py` — скрипт для запуска тренировки нового стиля.

Функционал `qt_gui` модуля сводится к представлению удобного графического интерфейса пользователя. Он лаконичный с эргономичным дизайном, представлен в удобной форме, а также позволяет выполнять основную функцию модуля `ml_core` — наглядную трансформацию изображений и видео.

Пример работы программного обеспечения

На рис. 6 представлено главное окно программы с открытой галереей стилей (рис. 6).

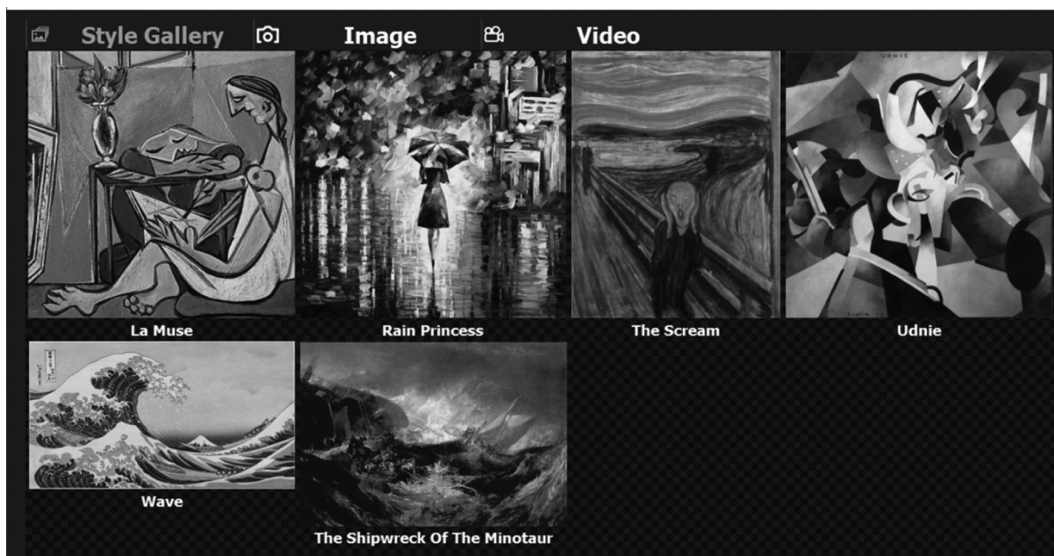


Рис. 6. Главное окно программы и панель галереи стилей

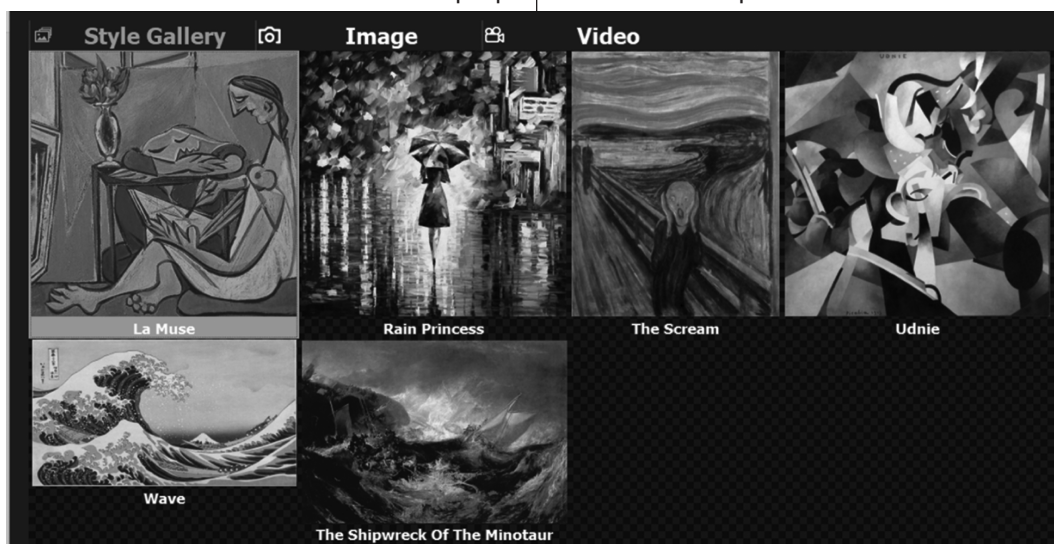


Рис. 7. Выбранный стиль «La Muse» из галереи стилей

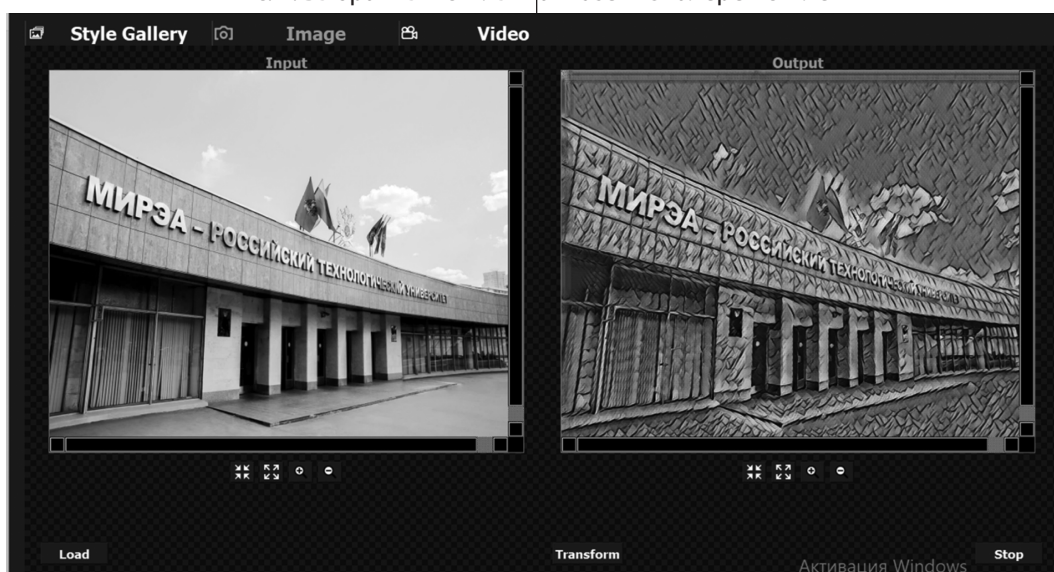


Рис. 8. Трансформация изображения завершена

Для начала трансформации стиля, необходимо сначала выбрать стиль из галереи стилей (рис. 7).

После данного этапа, для трансформации изображений необходимо перейти на соответствующую панель, которая содержит два обозревателя изображений, для входящего и исходящего файла (рис. 8).

Далее требуется загрузить входное изображение, нажав кнопку «Load». Появится диалоговое окно выбора файла, в котором необходимо выбрать файл изображения, после чего обозреватель входного изображения будет заполнено загруженным изображением. Масштаб изображения можно регулировать кнопками управления обозревателем.

Для начала трансформации изображения, необходимо нажать кнопку «Transform» на панели изображений. Внизу появится индикатор выполнения в виде зеленой ленты прогресса. Для прерывания процесса трансформации необходимо нажать кнопку «Stop».

После завершения трансформации автоматически заполнится обозреватель исходного изображения и исчезнет индикатор прогресса. Трансформация изображения считается завершенной.

Для трансформации видео необходимо перейти на соответствующую панель, которая содержит два видео плеера, для входящего и исходящего соответственно. Сразу после запуска ArtStyle.exe видео плееры пустые.

Далее нужно загрузить входящее видео нажав кнопку «Load». Появится диалоговое окно выбора файла, в кото-

ром необходимо выбрать файл видео, после чего видео плеер входящего видео будет заполнено загруженным видеороликом. Плеером можно управлять с помощью его панели управления.

Для начала трансформации видео, необходимо нажать кнопку «Transform» на панели видео. Внизу появится индикатор выполнения в виде зеленой ленты прогресса. Для прерывания процесса трансформации необходимо нажать кнопку «Stop».

После завершения трансформации автоматически заполнится выходной видео плеер и исчезнет индикатор прогресса (рис. 9). Трансформация видео считается завершенной.

Выводы

В результате проведенной работы, с помощью среды программирования MS Visual Studio 2022, Qt Designer, Visual Studio Code и языков программирования C ++, Python с использованием фреймворков Qt и TensorFlow, было создано программное обеспечение для трансформации стиля изображений и видео в виде двух модулей — модуль трансформации стиля и модуль клиента, управляющий трансформацией.

Разработанная система позволяет:

- просматривать имеющиеся для наложения стили;
- трансформировать стиль изображений;
- трансформировать стиль видео.

Разработанная система может улучшаться в будущем путем добавления новых стилей, оптимизации трансформирующего алгоритма, а также переноса модуля



Рис. 9. Трансформация видео завершена

трансформации на язык C ++, что должно значительно повысить скорость работы системы.

Также возможна более общая реализация системы путем разработки сервера управления модулем транс-

формации стилей и его графической интерфейсной части в виде веб-страницы. Другими словами — реализация в виде веб-сервиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — 2012 [Электронный ресурс]. URL: <https://studizba.com/files/show/pdf/84807-1-gonsales-r-vuds-r-cifrovaya-obrabotka.html>.
2. Нестереня И.Г., Махнач Н.С. Применение нейронных сетей для решения творческих задач. — 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://libdoc.bsuir.by/handle/123456789/27623>.
3. Жерон О. Прикладное машинное обучение с помощью Scikit-Learn и TensorFlow ШШ. — 2018 [Электронный ресурс]. URL: https://fileskachat.com/view/69498_fb6bc614e748510c39dd2d649a9443f3.html
4. Зулунов Р.М., Солиев Б.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PYTHON ДЛЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ //AI-Farg'oniy avlodlari. — 2023. — Т. 1. — №. 3. — С. 18–24 [Электронный ресурс]. URL: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=3712460>.
5. Нарбут А.П., Либеров Р.В. Методы стилизации изображений на основе свёрточной и глубокой нейронной сети //Электронный журнал: наука, техника и образование. — 2017. — №. 1. — С. 27–30 [Электронный ресурс]. URL: <https://nto-journal.ru/catalog/informacionnye-technologii/248/>.
6. Ульянов Д.И., Савельев Д.А. Исследование применения циклических генеративно-состязательных нейронных сетей для стилизации изображений //Информационные технологии и нанотехнологии (ИТНТ-2020). Сборник трудов по материалам VI Международной конференции и молодежной школы (г. Самара, 26–29 мая). — 2020. — №. 4. — С. 198–205 [Электронный ресурс]. URL: <http://repo.ssau.ru/handle/Informacionnye-tehnologii-i-nanotehnologii/Primenenie-svertochnyh-neironnyh-setei-dlya-ustanovleniya-vozrasta-cheloveka-po-izobrazheniu-84903>.
7. Гольдштейн М.А. Использование сверточных нейронных сетей в задачах стилизации и синтеза текстур //Аллея науки. — 2017. — Т. 2. — №. 9. — С. 849–855 [Электронный ресурс]. URL: <http://lib.tssonline.ru/articles2/fix-corp/postroenie-arhitektury-neyronnoy-seti-dlya-vyyavleniya-vida-raspredeleniya-sluchaynyh-velichin>.
8. Бэрри П. Изучаем программирование на Python. — Litres, 2019 [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/3AArou>.

© Русаков Алексей Михайлович (rusal@bk.ru); Соловьева Вероника Антоновна (solovieva.veronika00@mail.ru);
Рахилов Игорь Русланович (rakhilov@bk.ru); Воробьев Иван Алексеевич (vorobev_i_a@mail.ru); Филатов Вячеслав Валерьевич (filv@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЧТИ-ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ

ANALYSIS AND IDENTIFICATION OF NEAR-PROPORTIONAL CHARACTERISTICS IN TIME SERIES

I. Staroverov

Summary. In today's environment, the exponential growth of information requires advanced data analysis techniques, especially for the analysis of nonlinear oscillations that exhibit stable structures. This study elucidates an empirical study that aims to decompose data to elucidate the dynamics driving fast and slow processes and to identify quasi-proportions in geometric progressions. Using stock data from Walmart, the study uses a methodology based on shift functions and metric spaces to facilitate the determination of the initial values and coefficients inherent in geometric progressions. This approach allows for an in-depth study of the rhythms inherent in geometric progressions, identifying close proportions and identifying critical points in time series. The methodological novelty lies in the use of functional analysis and specialized algorithms to clarify and evaluate the mathematical stability of the results. Empirical evidence validates the method's ability to comprehensively analyze complex time series and isolate key parameters, highlighting its essential relevance for data-driven research and its applicability across multiple sectors. Additionally, this study highlights the importance of multidimensional data analysis to improve forecasting accuracy and strategic decision making.

Keywords: empirical data, almost-proportions, geometric progression, shift functions, function spaces.

Введение

Особенностью эмпирических данных является их способность отражать результаты взаимодействий процессов, происходящих на уровнях с различными основами. Это обстоятельство обуславливает необходимость в декомпозиции исходного массива данных на элементы, представляющие как быстрые, так и медленные процессы. Анализируя динамику быстрых процессов, можно выявить структуру, близкую к периодическим (или почти-периодическим) последовательностям, что в свою очередь позволяет выделить ключевые точки системы, радикально трансформирующие ее структуру. [1, 2, 3]

В то же время, анализ медленных процессов, служащих выражением основных направлений развития, осуществляется через нелинейные трансформации — анаморфозы, преобразующие данные в последователь-

Староверов Игорь Николаевич

Старший преподаватель, Российский технологический университет (МИРЭА), г. Москва
st.igornik@gmail.com

Аннотация. В современной среде экспоненциальный рост объема информации требует передовых методов анализа данных, особенно для анализа нелинейных колебаний, демонстрирующих устойчивые структуры. Это исследование поясняет эмпирическое исследование, направленное на разложение данных для выяснения динамики, управляющей быстрыми и медленными процессами, а также для выявления квазипропорций в геометрических прогрессиях. Используя биржевые данные компании Walmart, в исследовании применяется методология, основанная на функциях сдвига и метрических пространствах, что облегчает определение начальных значений и коэффициентов, присущих геометрическим прогрессиям. Этот подход позволяет углубленно изучать ритмы, присущие геометрическим прогрессиям, выявлять близкие пропорции и выявлять критические точки во временных рядах. Методологическая новизна заключается в применении функционального анализа и специализированных алгоритмов для уточнения и оценки математической устойчивости результатов. Эмпирические данные подтверждают способность этого метода всесторонне анализировать сложные временные ряды и изолировать ключевые параметры, подчеркивая его существенную значимость для исследований, ориентированных на данные, и его применимость в различных секторах. Кроме того, это исследование подчеркивает важность многомерного анализа данных для повышения точности прогнозирования и принятия стратегических решений.

Ключевые слова: эмпирические данные, почти-пропорции, геометрическая прогрессия, сдвиговые функции, функциональные пространства.

ности с линейными участками. Сопоставление особенностей почти-периодов и основных тенденций дает возможность описать общую структуру временного ряда. [4, 5, 10]

Кроме того, в исследованиях сталкиваются с задачей выявления почти-пропорций, решение которой возможно как с использованием специальных алгоритмов для определения этих пропорций, так и через анализ связей между почти-периодами. [6, 7, 8]

В этом исследовании будут затронут анализ степени математической неровности результатов для набора функций сдвига, основанных на геометрической прогрессии, используя метрики расстояний в пространствах с метрической структурой. Кроме того, исследуется выявление критических точек в последовательностях данных, представленных временными рядами. В качестве данных были выбраны данные акции компании Walmart.

Метод

Для выявления закономерностей геометрической прогрессии используем принцип, согласно которому данные ритмы соответствуют условию $f(t \cdot k) - f(t) = 0$, где $f(t)$ — обозначает значение анализируемого временного ряда в момент t , k — коэффициент геометрической прогрессии.

Термин «почти-пропорция» применяется к числу k , для которого выполняется условие $|f(t \cdot k) - f(t)| < \epsilon$, где $\epsilon > 0$ представляет собой заданный порог отклонения, который задает чувствительность метода к малейшим изменениям в данных. Это требует тщательного подхода к анализу и сравнению различных значений ϵ , чтобы определить наиболее подходящее для каждого конкретного случая. Такой подход позволяет добиться баланса между чувствительностью и специфичностью метода, учитывая при этом специфику анализируемых данных. В контексте дискретного анализа, при заданном общем количестве отсчетов N функции $f(t)$, определяемой экспериментальными данными, формулируется функция для расчета почти-пропорций как:

$$b(k) = \frac{k}{N} \sum_{i=1}^{N/k} |f(t \cdot k) - f(t)|$$

Для точного определения ритмов геометрической прогрессии необходимо учитывать начальную точку отсчета t_0 , которая может находиться как внутри, так и за пределами анализируемых данных. С учетом этого, формула для выявления почти-пропорций модифицируется следующим образом:

$$b(k, t_0) = \frac{k}{N} \sum_{t=1}^{N/k} |f(t \cdot k + t_0) - f(t + t_0)|$$

Следовательно, структура квази-пропорций k для функции $f(t)$ может быть охарактеризована как комплекс локальных минимумов данной функции. Глубина этих минимумов на графике отражает степень приближения к истинным значениям коэффициента в геометрической последовательности для определённого промежутка времени, увеличивая их важность в исследуемом временном ряде.

В таблице 1 представлены различные сдвиговые функции, основанные на метриках функционального анализа.

Представленная методика обеспечивает комплексный подход к идентификации и анализу ритмов геометрической прогрессии во временных рядах, используя принципы функционального анализа для уточнения и оценки почти-пропорций.

Таблица 1.

Классификация сдвиговых функций в контексте функциональных метрических пространств

| № | Сдвиговые функции |
|-----|---|
| (1) | $b(k, t_0) = \frac{k}{N} \sqrt[2N]{\left(\sum_{t=1}^{N/k} f(t \cdot k + t_0) - f(t + t_0)\right)^{2N}}$ |
| (2) | $b(k, t_0) = \left(\frac{k}{N} \sum_{t=1}^{N/k} f(t \cdot k + t_0) - f(t + t_0) \right)^{p \cdot \frac{1}{p}}$ |

Обозначение в формулах:

N — общее число отсчетов функции;

k — знаменатель прогрессии;

t — время;

t_0 — начало отсчета геометрической прогрессии;

p — задаваемый степенной параметр.

Результаты и обсуждение

Рассмотрим классическую периодическую функцию — синус. Программирование этой функции будет выполнено на языке Python с использованием стандартных библиотек.

Определим параметры для нашей функции синуса: временной интервал t от 0 до 20 секунд с общим количеством 500 точек, а также коэффициенты k_1 и k_2 равные 4 и 7 соответственно. На основании этих данных построим график (рис. 1).

На Рисунке 1 изображено возмущение синуса, где по оси x отложено значение точки на интервале времени t , а по оси y значение величины колебания в момент времени.

С целью исследования почти-пропорциональных свойств синуса, мы вычислим и проанализируем набор сдвиговых функций. Первым шагом будет устранение трендовой компоненты по формуле

$$\ln\left(\frac{y_{t-\Delta t} \cdot y_{t+\Delta t}}{y_t^2}\right) \sim t,$$

затем исследование сдвиговых функций на основе уравнений (1),(2) из таблицы 1 для оценки их математической эффективности в различных метрических пространствах.

Визуализируем полученные результаты на графиках сдвиговых функций в разнообразных функциональных пространствах, учитывая параметр p равным 5 и 25.

На Рисунке 2 представлен обобщенный 3D график для анализируемого набора сдвиговых функций (1),(2), где было выявлено, что сдвиговые функции демонстри-

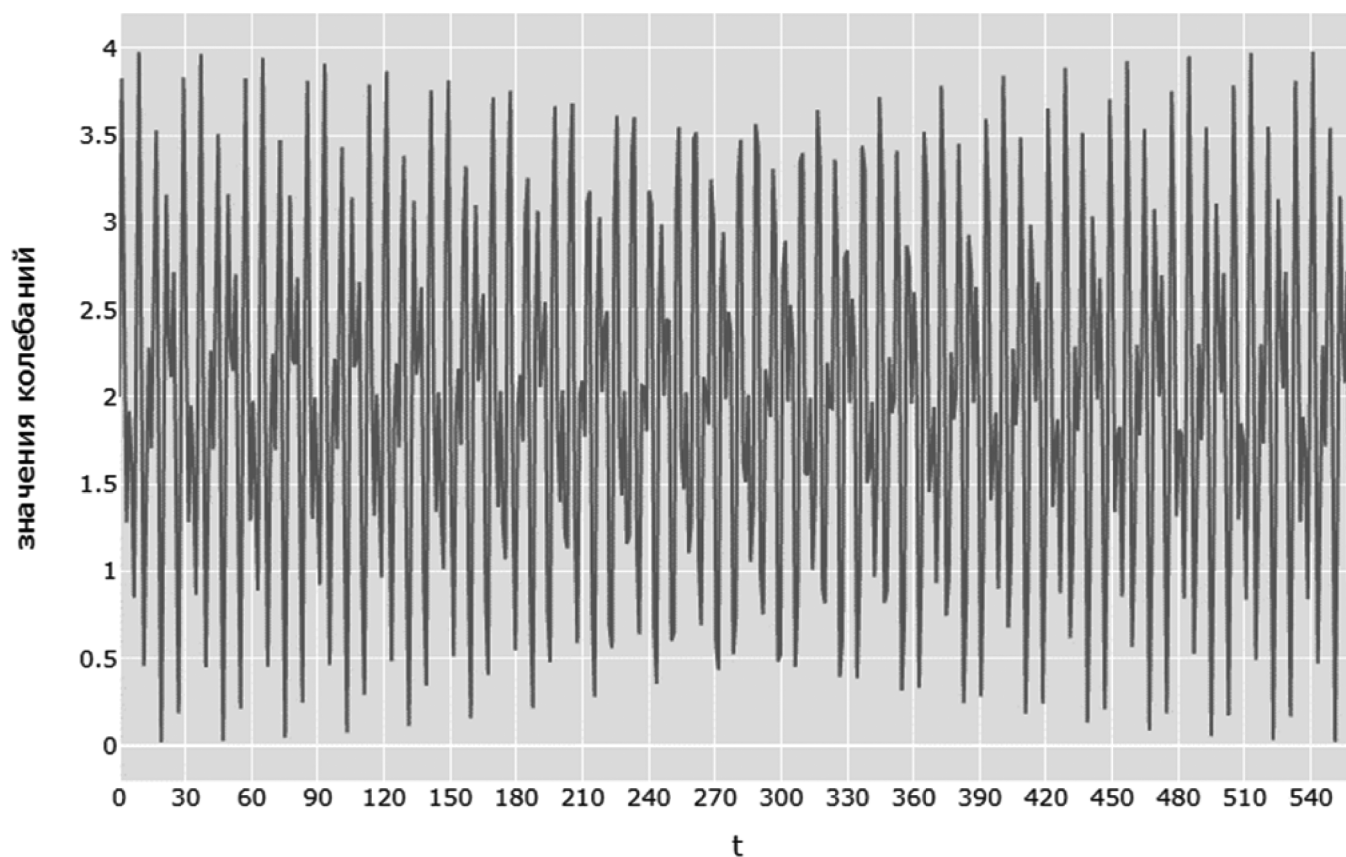


Рис. 1. Колебание синуса

ругут лишь небольшие различия в структуре при разных метриках. На данном графике ось x отображает значения для знаменателя прогрессии K , а ось y — значения для начального параметра отсчета t_0 .

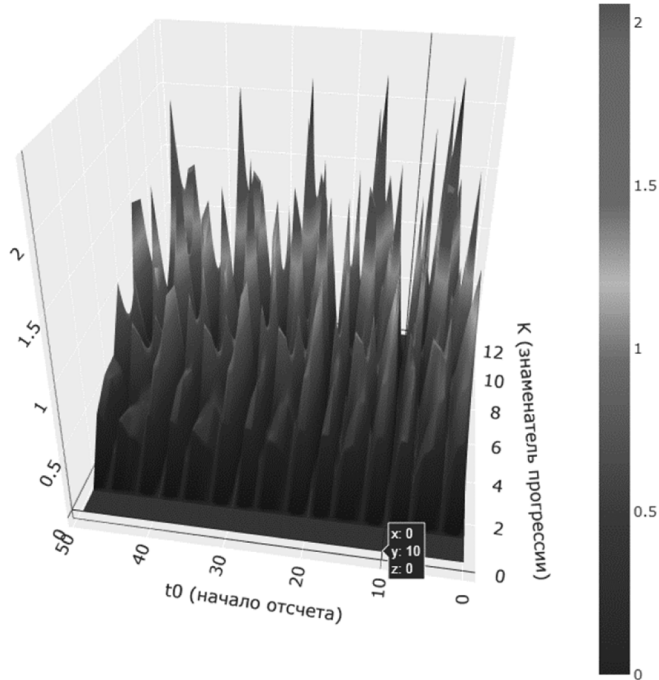


Рис. 2. 3D график класса сдвиговых функций

На основании 3D-графика был установлен параметр начального отсчета t_0 , равный 10, благодаря выделенному каналу минимумов. Однако точные значения коэффициента K выявить не удалось из-за отсутствия подобных каналов минимумов. Зафиксированное значение для начального отсчета t_0 было затем применено на контурном графике для анализа сдвиговых функций, представленном на Рисунке 3.

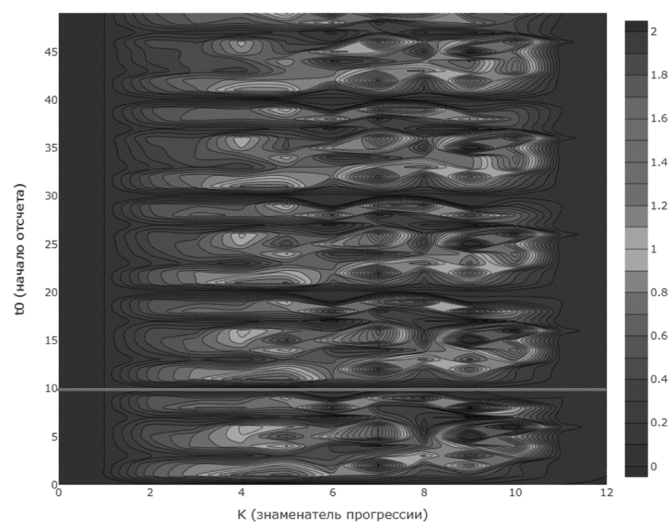


Рис. 3. Контурный график для класса сдвиговых функций

На контурном графике Рисунок 3 видно, что при $t_0=10$ существует явный минимальный канал, указывающий на значение данного параметра и его последующее удвоение.

Затем мы рассмотрели срез для набора сдвиговых функций с параметром $t_0=10$ (Рисунок 4), на котором были обозначены минимальные значения, равные 5 и 8, необходимые для определения значения K .

Следующим шагом построили графики почти-пропорций, основываясь на ранее выявленных значениях t_0

и K , с логарифмическим масштабом осей (Рисунок 5, Рисунок 6). По оси x отложено логарифмическое значение разницы времени и начала отсчета, а по оси y — логарифмические значения амплитуды синуса.

Выставим единицу отсчета на первый явный минимум и тем самым определим положение начала отсчета для геометрической прогрессии.

Оба графика демонстрируют, что при выбранных параметрах $t_0=10$ и $K=5$, а также $K=8$ значения геометрической прогрессии соответствуют локальным минимумам.

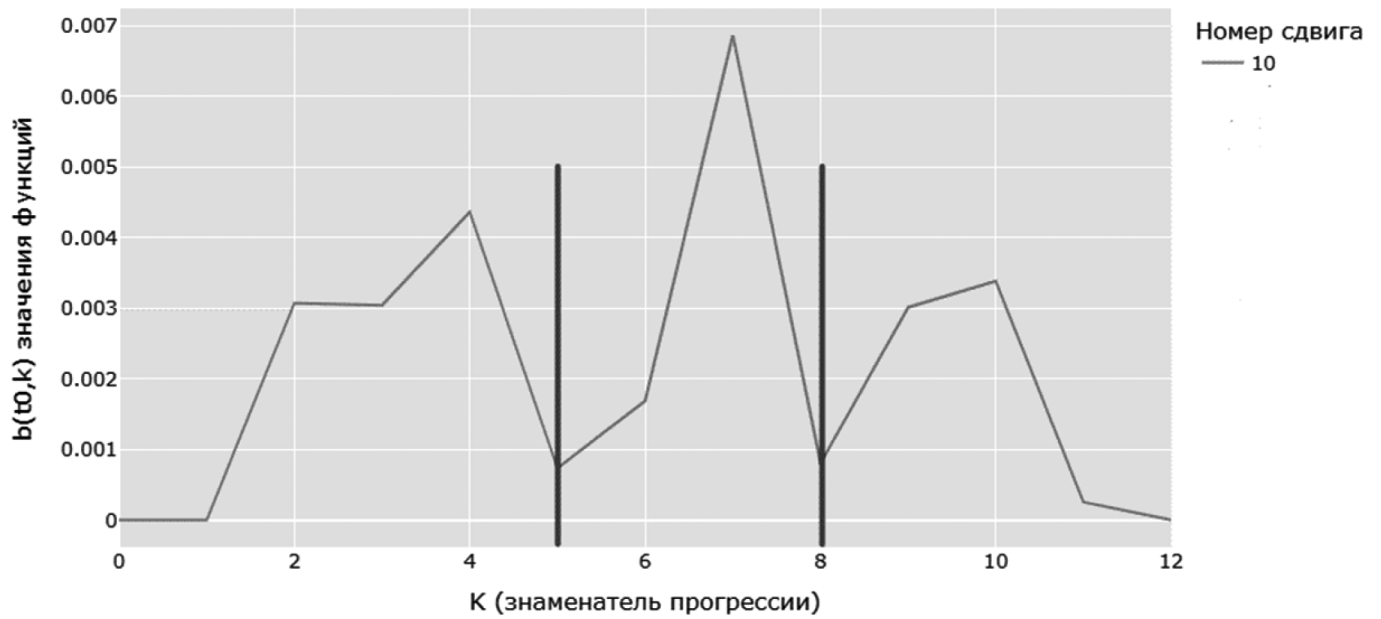


Рис. 4. Срез по t_0 для сдвиговых функций $t_0=10, K=5$

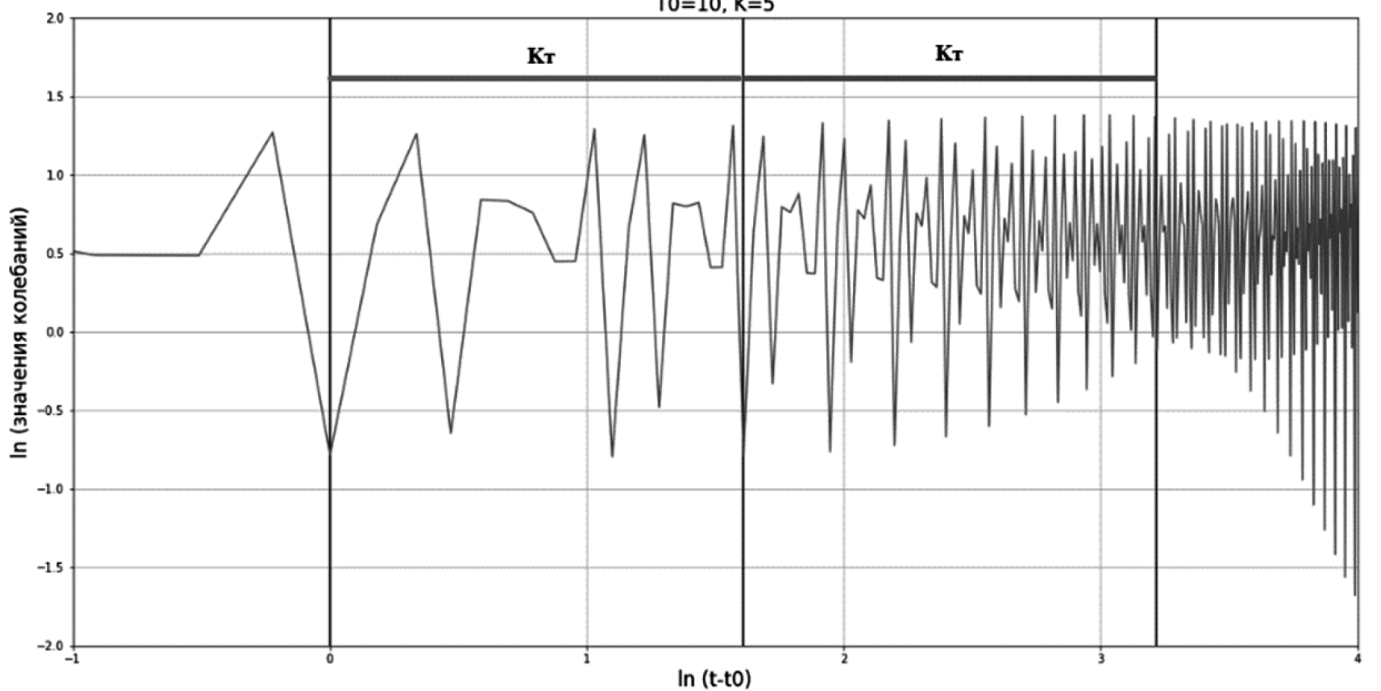


Рис. 5. Почти-пропорции для сдвиговых функций

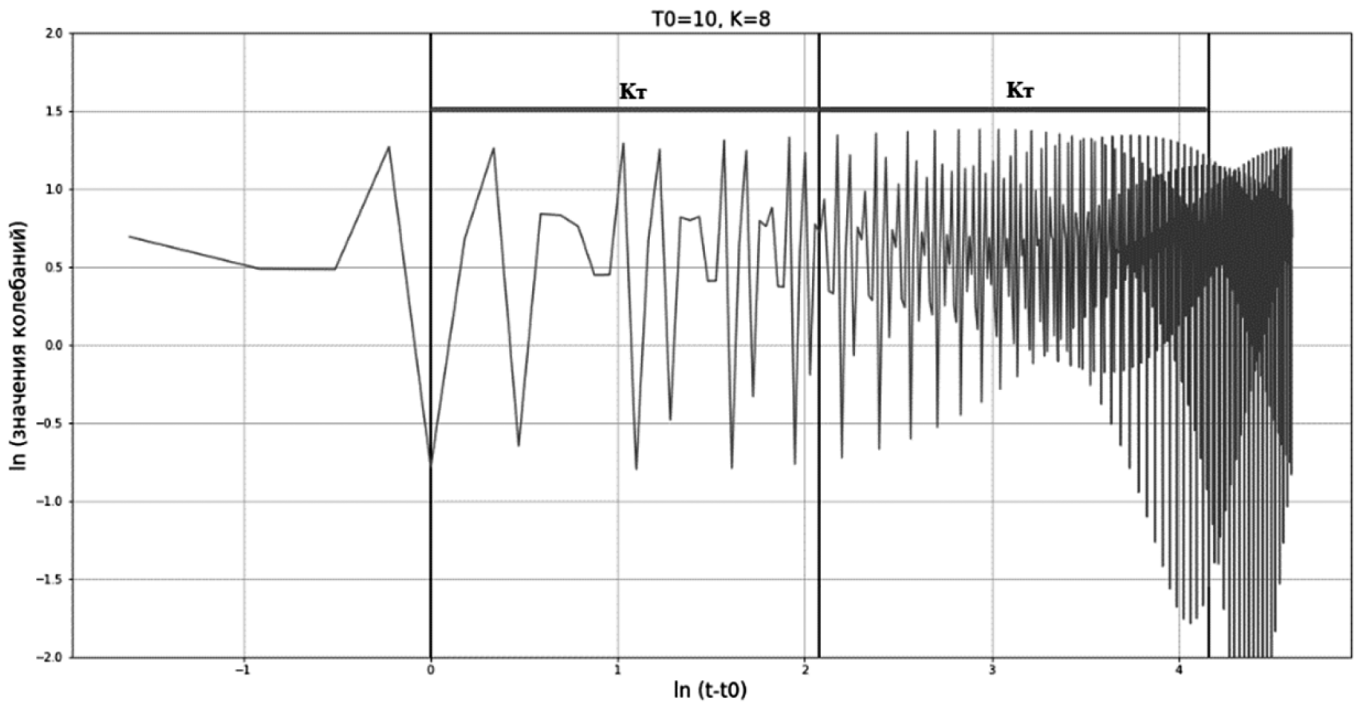


Рис. 6. Почти-пропорции для сдвиговых функций

Таким образом, результаты подтверждают корректность работы алгоритмов и моделей, поскольку исследование сдвиговых функций показывает согласованные результаты для выявленных значений параметров t_0 и K в различных метрических пространствах.

Изучим акции компании Walmart с 5 июля 1966 по 19 января 2024 года, ориентируясь на данные по торговым дням в календарном году, чтобы проверить математическую стабильность полученных результатов и выявить критические точки. [10] Информация отображена на графике (Рис. 7):



Рис. 7. Цена акции компании Walmart

На этом графике по оси x указаны года, а по оси y — цена акций.

Применим сдвиговые функции, используя уравнения (1), (2), для анализа в различных функциональных и метрических пространствах с параметром $p = 5, 25$. Ось x здесь показывает знаменатель прогрессии K , а ось y — начальный отсчет t_0 .

На Рисунке 8 отображает общий 3D обзор сдвиговых функций, показывая, что их структура остается похожей во всех пространствах. Из этого графика был определен параметр $t_0 = 210$, в то время как точное значение k установить не удалось из-за отсутствия соответствующих минимумов.

На контурном графике (Рис. 9) мы видим, как значения знаменателя прогрессии K и начального отсчета t_0 распределяются, выделяя канал минимумов для $t_0 = 210$.

Далее, необходимо рассмотреть срез для класса сдвиговых функций по параметру $t_0=210$ (Рис. 10) для поиска значения для параметра k . Детальный анализ среза для $t_0=210$ позволил найти значение $k = 3572$, так как часто встречающееся на разных срезах параметра t_0 . По оси x значение для параметра k , а по оси y значения функций.

Изучение класса сдвиговых функций в контексте данного временного ряда показало сходство результатов, полученных с использованием формул (1) и (2). Поэтому для визуализации результатов, касающихся параметров начального отсчета t_0 и коэффициента K , будет достаточно создать унифицированные графики.

Функция №2

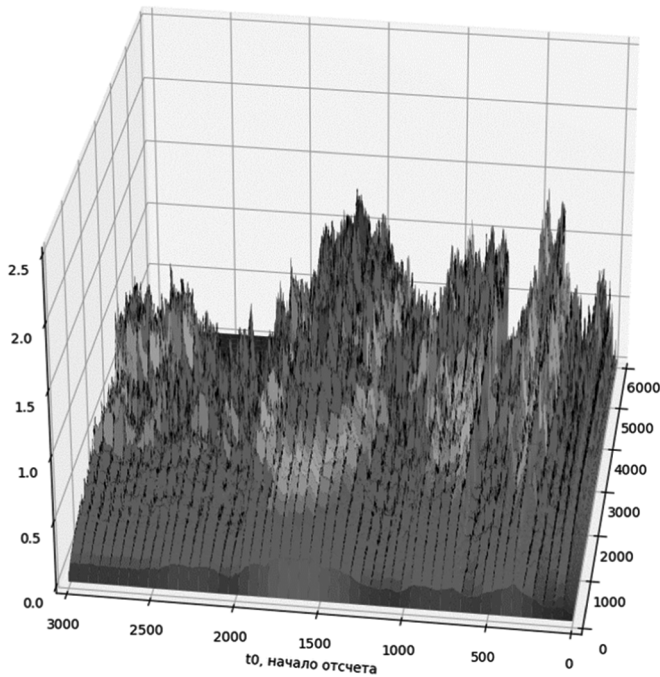


Рис. 8. 3D график для сдвиговых функций

Построим графики почти-пропорции, по выявленным ранее значениям параметров t_0 и K , у которых оси имеют логарифмический масштаб (Рис. 11). А также выявим критические точки во временном ряду. Так как параметр K имеет собственное значение более тысячи, то необходимо снижение масштаба почти-пропорции в e^7 раз

чтобы, облегчая идентификацию системных критических точек. Тогда наш параметр K будет иметь значение уже не 3572, а 3,258 тем самым мы выявим критические точки системы. По оси y логарифмированное значение разницы времени и начала отсчета, а у логарифмированные значения цены акции.

На графике (Рис. 11) видно, что критические точки были выявлены там, где во временном ряду появлялись локальные минимумы, за которыми следовал интенсивный рост. Эти локальные минимумы служат индикаторами для определения почти-пропорциональных отношений в циклическом поведении временного ряда.

Анализируя устойчивость результатов для класса сдвиговых функций в рамках данного временного ряда, было установлено, что параметры t_0 и K сохраняют одинаковые значения во всех исследованных метрических пространствах. Это позволяет сделать вывод о том, что при анализе устойчивости результатов сдвиговых функций, описываемых геометрической прогрессией, в различных метрических пространствах наблюдается высокий уровень согласованности и точности. Более того, была успешно выявлена серия критических точек в анализируемом временном ряду, подтверждая эффективность метода.

Заключение

Подводя итоги работы, можно отметить следующее: разработан и проверен метод определения начального

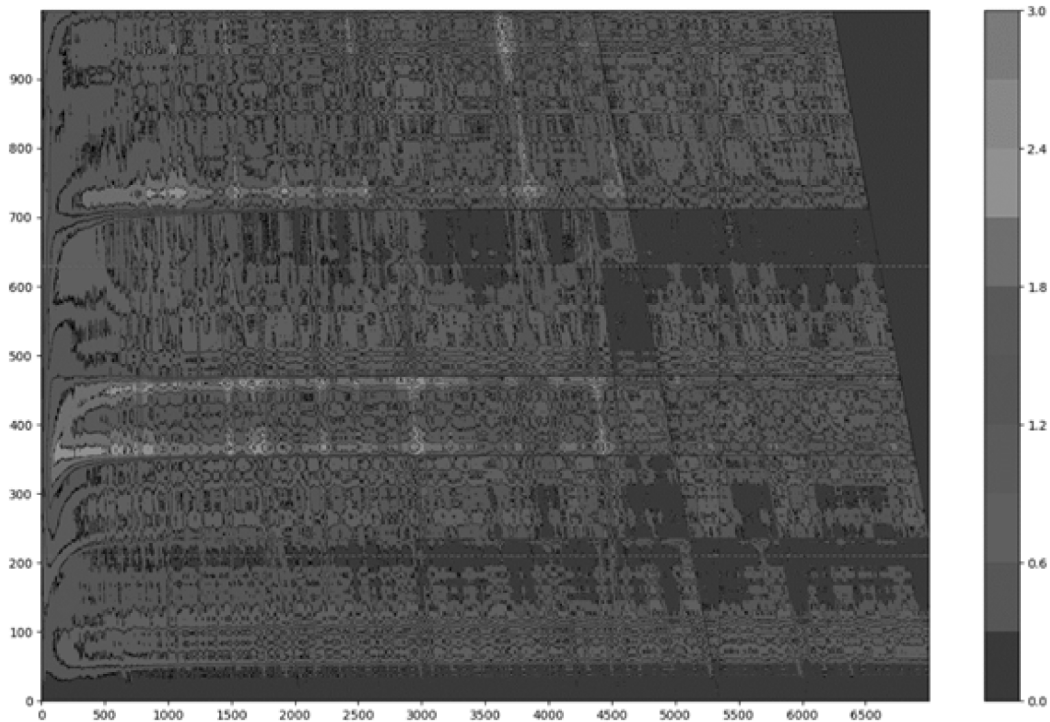
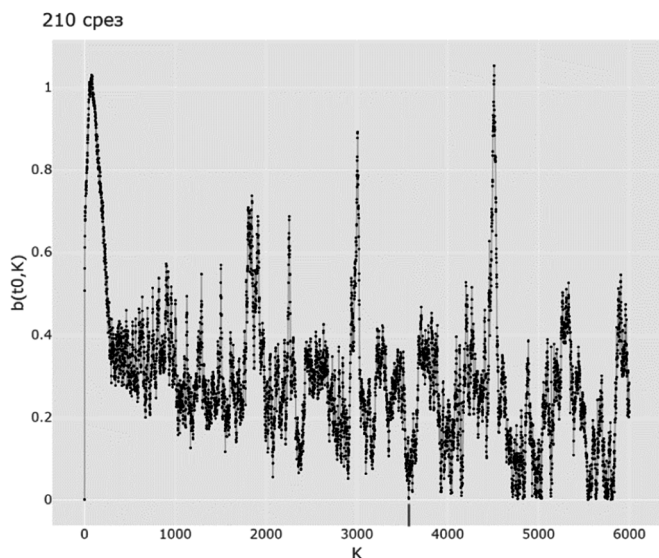


Рис. 9. Контурный график сдвиговых функций с выявленным каналам минимумов t_0

Рис. 10. Срез по t_0 для сдвиговых функций

значения t_0 и коэффициента k для геометрических рядов. Осуществлена оценка надежности полученных данных с помощью анализа сдвигов в разнообразных метриче-

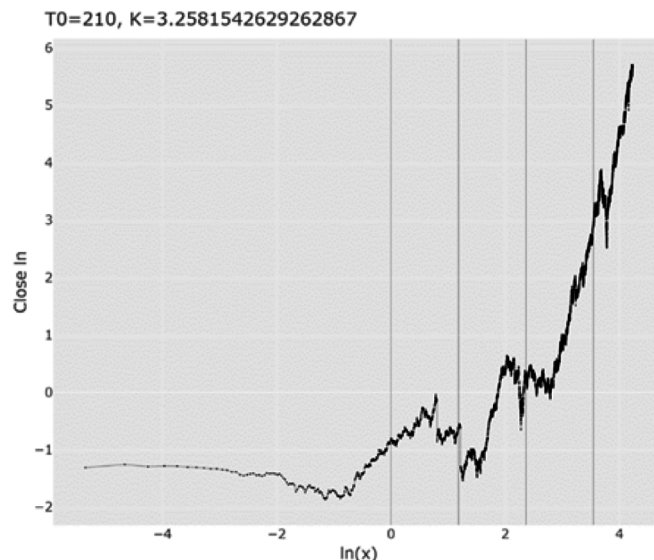


Рис. 11. Почти-пропорции для сдвиговых функций

ских пространствах. Значительным результатом стало выявление геометрических прогрессий с знаменателями порядка тысячи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Методы построения моделей по эмпирическим данным. — М.: МИРЭА, 2012. — 94 с. (дата обращения 15.02.2024).
2. Староверов И.Н., Кузьмин В.И., Есипов И.В. Исследование синхронизации почти-пропорциональных и почти-периодических характеристик временных рядов. Инженерный вестник Дона, №11 (2023). URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n11y2023/8844> (дата обращения 15.02.2024).
3. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Технический анализ. — М.: МИРЭА, МГУПИ 2015. — 71 с. (дата обращения 16.02.2024).
4. Кузьмин В.И., Самохин А.Б. Почти периодические функции с трендом. — М.: «ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА» No 4 2015 Том II, 2015. (дата обращения 19.02.2024).
5. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Математические методы анализа периодических компонент нелинейных процессов и прогнозирования динамики ограниченного роста на их основе. — М.: «ВЕСТНИК МГТУ МИРЭА» No 4 2015 Том II, 2015. (дата обращения 19.02.2024).
6. Кузьмин В.И., Гадзаов А.Ф. Модели и методы научно-технического прогнозирования. — М.: МИРЭА, 2016. — 90 с. (дата обращения 12.02.2024).
7. Староверов И.Н., Кузьмин В.И. АНАЛИЗ ПОЧТИ-ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ КЛАССА СДВИГОВЫХ ФУНКЦИЙ // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. — 2023. — №01. — С. 150–160 DOI 10.37882/2223–2966.2023.01.33 (дата обращения 17.02.2024).
8. Kuzmin V., Gadzaov A., Dzerjinsky R. Methods for data analysis. — М.: Издательство «Перо», 2021. — 243 с. (дата обращения 19.02.2024).
9. A.A. Paramonov, V.I. Kuzmin and R.I. Dzerjinsky. Analysis of almost-periodic and almost-proportional characteristics of a representative sample local minima time series. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 2020. [Электронный ресурс] — URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1047/1/012045. (дата обращения 18.02.2024).
10. Поисковая система Yahoo [Электронный ресурс] / Yahoo. — URL: <https://finance.yahoo.com/quote/WMT/history> (дата обращения 21.01.2024).

© Староверов Игорь Николаевич (st.igornik@gmail.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗА СЧЕТ УСКОРЕНИЯ МУТАЦИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

IMPROVING SOFTWARE QUALITY BY SPEEDING UP MUTATION TESTING

A. Filimonov

Summary. Mutation testing has a long history that starts back in the 1970s. The process of mutation analysis has undergone many improvements. But despite this, there are still areas for development. The number of publications is growing year after year, which shows the interest of system engineers in this topic and its relevance. Since mutation testing can be divided into several steps, most research focuses on optimizing a specific step rather than the whole process. This paper will focus on test cases and the implementation of an algorithm for their effective use in mutation testing. The algorithm being developed aims to show that selecting relevant test cases can reduce the resource cost of performing automated mutation testing. The reason for implementing such an algorithm is that testing has always been an important step in the development process, with written tests not always being able to validate the quality of the software. In order to improve the quality of testing, mutation testing is used. Conducting mutation testing is a resource-intensive process; the new approach is supposed to save the resources and make the process available to developers. The result of this work is a test case selection method based on commits and test coverage and a software tool module for mutation testing. To achieve the desired result, a systematic analysis of research work in this direction has been done. Also, test case selection algorithms have been developed, based on them the module for mutation testing tool has been implemented and tested on open source projects to confirm the applicability.

Keywords: testing quality, mutant selection, test suite reduction, test coverage, git commits.

Филимонов Артём Александрович
Аспирант, Российский экономический
университет им. Г.В. Плеханова
pe4enko111@rambler.ru

Аннотация. Мутационное тестирование имеет достаточно длинную историю развития, которая началась еще в 1970-х годах. Процесс мутационного анализа претерпел большое количество улучшений. Но, несмотря на это, все еще остаются области для развития. Количество публикаций растет из года в год, что говорит об интересе системных инженеров к этой теме и ее актуальности. Поскольку мутационное тестирование можно разбить на несколько этапов, большинство исследований посвящено оптимизации конкретного этапа, а не всего процесса. Данная работа будет посвящена тестовым случаям и реализации алгоритма для их эффективного использования в мутационном тестировании. Разрабатываемый алгоритм призван показать, что выбор релевантных тестовых случаев может снизить затраты ресурсов на выполнение автоматизированного мутационного тестирования. Причина внедрения такого алгоритма заключается в том, что тестирование всегда было важным этапом процесса разработки, при этом написанные тесты не всегда могут подтвердить качество программного обеспечения. Для того, чтобы улучшить качество тестирования используется мутационное тестирование. Проведение мутационного тестирования — ресурсоемкий процесс; новый подход позволит сократить затрачиваемые ресурсы и сделать процесс доступным для разработчиков. Результатом работы является метод выбора тестовых случаев, основанный на коммитах и тестовом покрытии, и модуль программного инструмента для мутационного тестирования. Для достижения желаемого результата был проведен систематический анализ исследовательских работ в данном направлении. Также, были разработаны алгоритмы выбора тестовых случаев, на их основе реализован модуль для инструмента мутационного тестирования и проверен на открытых проектах для подтверждения применимости.

Ключевые слова: качество тестирования, выбор мутантов, сокращение тестового набора, покрытие тестов, git коммиты.

Введение

Процесс разработки программного обеспечения делится на несколько этапов, каждый из которых имеет решающее значение для успешного продукта. Фаза тестирования отвечает за обеспечение качества. Разработчикам важно обеспечить качественное тестирование, чтобы устранить ошибки на ранних стадиях. Возникает вопрос — как определить, что написанные тестовые случаи адекватны в выявлении ошибок? Существует несколько видов тестирования, которые используются для разных целей. На первый взгляд покрывающего тестирования должно быть достаточно для определения качества, так как оно позволяет определить, какие участки кода тестируются. Но на самом деле

его недостаточно для 100-процентного покрытия тестов. Покрывающее тестирование не охватывает синтаксические аспекты кода, где еще могут проявиться ошибки. Для оценки актуальности и адекватности тестового набора можно использовать мутационное тестирование. Мутационное тестирование — это процесс использования мутационного анализа для количественной оценки сильных сторон тестового набора. Целью мутационного анализа является генерация семантических вариантов программ путем автоматического изменения синтаксиса программы и сравнения с оригинальной программой [1].

В настоящее время большинство исследований в области мутационного тестирования посвящено оптимизации процесса тестирования. В [1], [2] подробно описано

мутационное тестирование и его применение. Современный процесс мутационного тестирования включает 10 шагов, которые изображены на рис. 1. Процесс начинается с выбора мутантов. Мутант — программа, содержащая дефекты в коде, полученные путем изменения синтаксиса в соответствии с определенными правилами. Этот этап предполагает два шага: выбор мутантных операторов и сокращение мутантов. Выбор операторов зависит от различных условий, таких как тип языка программирования, приложения или ошибки. Когда мутантные операторы выбраны, необходимо выбрать стратегию сокращения мутантов, так как после генерации мутантов их количество может быть огромным и приводить к увеличению затрат на их выполнение. Кроме того, не все мутанты будут валидными из-за проблем с компиляцией. Создание мутантов также является изученной темой с рядом предложенных подходов для ее оптимизации. На следующем этапе необходимо удалить эквивалентные и избыточные мутанты, поскольку они искажают результаты мутационного тестирования, либо завышая, либо занижая достигнутый уровень покрытия [1]. При необходимости на основе мутантов могут быть сгенерированы тестовые случаи. Далее мутанты выполняются. В [1] предлагается два основных сценария выполнения мутантов. Выполнять мутанта до тех пор, пока он не погибнет, или выполнять для всех тестовых случаев и строить матрицу мутантов. В зависимости от количества мутантов, погибших во время выполнения, вычисляется балл мутации. На шаге 7 лишние тестовые случаи могут быть исключены из тестирования, а оставшиеся — расставлены по приоритетам. На самом деле

существует всего несколько исследований на эту тему, но предполагается, что сокращение числа тестовых случаев может повысить эффективность процесса мутационного тестирования при сохранении качества тестов. На следующем этапе необходимо определить, является ли полученная оценка мутации удовлетворительной или нет. Пороговое значение приемлемой оценки мутации должен определить человек, так как универсального подхода для разных случаев не существует. Если было решено, что результаты неудовлетворительны, шаги 4–7 повторяются. На последнем шаге программа должна быть проверена на корректность поведения. Если есть какие-либо ошибки, их следует устранить и повторить весь процесс.

Цель исследования

Внимание в данной работе направлено на этап сокращения и оптимизации тестов. Причиной этого является малое количество исследований данного этапа по сравнению с другими. Предполагается, что оптимизация этапа сокращения тестового набора может иметь значительное влияние на снижение стоимости мутационного тестирования. Основным фактором, влияющим на стоимость мутационного тестирования, является количество тестируемых мутантов. Если, например, выполнение тестового набора на оригинальной программе потребляет N ресурсов, то выполнение тех же тестов при тех же условиях на мутантах будет стоить $N \times M$ ресурсов, где M — количество мутантов. Очевидно, что мутанты можно выполнять параллельно, что сокращает время выполнения, но при этом увеличивается потребление

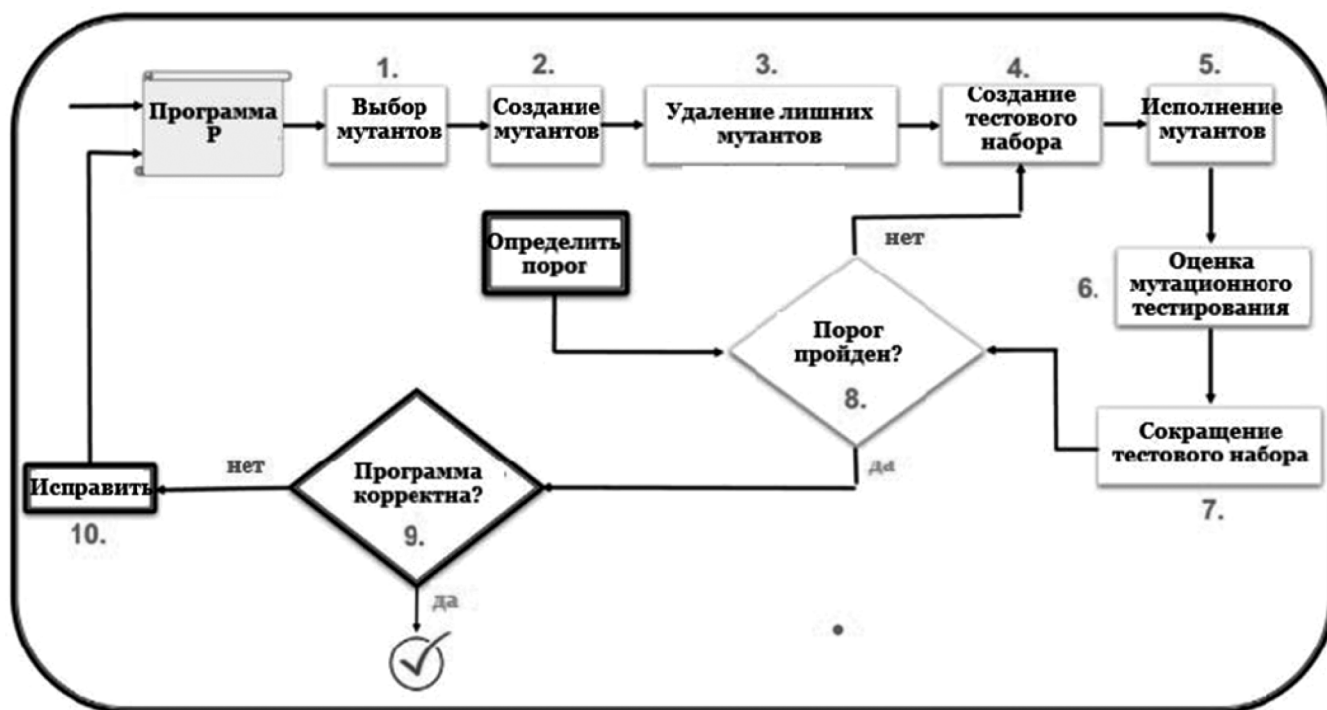


Рис. 1. Современное мутационное тестирование [1]

ресурсов процессора и памяти. Выигрыш от этого метода невелик. Другой подход заключается в уменьшении количества мутантов за счет удаления лишних. В качестве альтернативы этому подходу можно попробовать уменьшить количество тестовых случаев. Поскольку стоимость тестирования зависит от размера тестового набора, количество ресурсов будет меньше, если мы выполним меньше тестов. Вместе с этим возникает проблема локализации неисправностей. Когда мы уменьшаем набор тестов, есть вероятность, что некоторые ошибки не будут обнаружены во время тестирования. С мутационным тестированием все немного иначе, поскольку каждое выполнение мутанта подразумевает поиск дефектов в конкретном месте, а не во всей программе. Поэтому не обязательно выполнять все тесты, а только те, которые потенциально могут убить мутанта.

Современный процесс разработки стремится к применению автоматизации на всех своих этапах. Разработчики программного обеспечения заменяют ручное тестирование автоматизированным выполнением тестов. В этих условиях сложно интегрировать ресурсоемкое мутационное тестирование в процесс разработки. Весь процесс CI/CD для крупных проектов может занимать несколько часов, а если в него интегрировать мутационное тестирование, то время выполнения значительно увеличится. Один из возможных способов преодоления этой проблемы — проводить мутационное тестирование не на всей программе, а на ее измененной части. Для отслеживания состояния программы мы можем использовать историю коммитов проекта. При сравнении двух состояний программы выявляются различающиеся файлы, которые затем используются для мутационного тестирования. Поскольку нет необходимости запускать весь набор тестов на измененных файлах, необходимо выбрать соответствующие тестовые случаи. Выбор тестовых случаев может быть основан на информации о покрытии кода. Это традиционный сценарий сокращения тестового набора, хотя в некоторых инструментах мутационного тестирования он отсутствует. Полученная информация о тестах, убивающих мутантов, должна использоваться для определения приоритета их выполнения. Такой подход может быть использован для автоматизации мутационного тестирования.

Основная часть нового метода основана на информации о коммитах и поэтому требует интеграции с Git. Каждый Git-проект состоит из нескольких обязательных компонентов, которые формируют структуру версионного программного обеспечения. Коммиты — один из этих компонентов, и во временной шкале проекта они играют ключевую роль для сборки. Коммиты можно сравнить со снимками программного обеспечения, которые создаются в процессе разработки. На временной шкале Git-проекта может быть создано множество коммитов, что позволяет проследить историю разработки

программного обеспечения с самого начала.

Таким образом, целью работы является метод сокращения количества тестовых случаев при автоматизированном выполнении мутационного тестирования. Объектом работы является мутационное тестирование, а предметом исследования — информация о коммитах и тестовом покрытии измененной программы. Для достижения цели работы необходимо решить следующие задачи:

1. Систематический анализ в области сокращения тестовых наборов.
2. Разработка метода и математической модели.
3. Разработка алгоритма и реализация в виде программного обеспечения.
4. Разработка эксперимента и метрик, используемых для валидации метода.
5. Проведение эксперимента на реальных проектах.
6. Сделать вывод о применимости метода.

Анализ проблемы

Предлагаемый в работе метод реализован на основе традиционного подхода к сокращению тестовых наборов. Традиционный метод включает в себя две оптимизации. Во-первых, тестовые случаи, которые не достигают мутированного оператора в исходной программе, не должны выполняться. Во-вторых, нет необходимости выполнять тестовые случаи, когда мутант был убит. Этот подход будет использоваться для сравнения результатов, полученных после внедрения нового подхода, основанного на информации о коммитах.

Сегодня каждый программист знаком с инструментами git. Они используются для управления версиями кода и его распространения. Тесная интеграция с другими инструментами DevOps дает разработчикам возможность автоматизировать некоторые процессы, одним из которых является автоматизация тестирования. Поскольку разработка — это непрерывный процесс, изменения вносятся постоянно. Изменения, вносимые разработчиками, можно отследить по истории коммитов. Коммиты хранят информацию о файлах и их содержимом. Затем содержимое сравнивается, и мы получаем разницу в программных инструкциях. Основываясь на изменениях в строках кода, мы можем сократить и приоритизировать тестовые случаи, которые должны быть выполнены во время мутационного тестирования.

Предлагается отслеживать историю мутационного тестирования и хранить результаты в специальном файле в репозитории проекта. Это должно помочь сделать повторное выполнение тестового набора более эффективным, благодаря имеющейся информации о результатах тестирования и примененных изменениях. Резуль-

таты предыдущего тестирования анализируются вместе с новыми коммитами, добавленными в историю. Файл должен содержать ID каждого мутанта, который когда-либо генерировался для проекта, и результаты этой мутации: был ли мутант убит или выжил. Если мутант был убит, то в результатах сохраняется соответствующее имя теста. При появлении новых мутантов или получении новых результатов тестирования файл обновляется. Предложенный метод поддерживает итеративный процесс разработки программного обеспечения и поэтому применим для использования в практике CI/CD.

Среди большого количества инструментов для мутационного тестирования есть и такие, которые обладают функциями для итеративного использования. В PIT [3] эти возможности заявлены как экспериментальные, но могут быть включены пользователем. Еще один инструмент — Mutmut, который сохраняет результаты в файл и повторно запускает тесты только тогда, когда изменение применяется к тестовому файлу. Mutmut не учитывает цель и условия изменения, необоснованно выполняя весь тестовый набор. Но инструмент запоминает уцелевшие мутанты, которые становятся единственной целью для проверки. Это очень простой подход, который упускает оптимизацию и приводит к появлению необнаруженных ошибок.

Новый подход учитывает изменения, которые были внесены в программный код, а также изменения в тестовом наборе. Эта информация используется для обнаружения пар «мутант — тест», которые можно сократить. Когда мы создаем и тестируем наш продукт итеративно, некоторые части программы могут меняться, некоторые остаются неизменными. Мы не хотим тратить ресурсы на тесты, которые дают один и тот же результат в течение нескольких запусков. В то же время не стоит забывать, что изменения могут повлиять на обнаружение мутантов как положительно, так и отрицательно.

Метод сокращения количества тестов зависит от мутантов, в частности от того, как они были сгенерированы. В этой работе мутанты будут генерироваться случайным образом по всей кодовой базе с учетом покрытия тестами. Одна из основных причин — сокращение времени мутационного тестирования.

Согласно итерационному подходу к разработке, код или набор тестов должен меняться от версии к версии. На самом деле, мутационное тестирование может выполняться по разным сценариям, и в данной работе выделяется 4 из них: ничего не изменилось, тестовый набор был изменен, код программы был изменен, код программы и тестовый набор были изменены. Все сценарии будут учтены в алгоритме.

Математическая модель

Для разработки правильного решения проблемы сокращения тестовых случаев необходимо описать ее в математических терминах. Предположим, что у нас есть набор мутантов $M = \{m_0 \dots m\}$ и тестовый набор $TS = \{t_0 \dots t_j\}$. После проведения мутационного тестирования мы получаем матрицу (1), где $a_{ij} = (m_i, t_j)$ — результат выполнения пары мутант — тест со значениями $\{0, 1\}$. Значение результата 1 означает, что тест успешно обнаружил мутанта, а 0 — что мутант выжил. Мы можем сократить набор пар мутант — тест (m_i, t_j) , которые должны быть выполнены, заранее определив их результаты и подставив их в матрицу.

$$\begin{matrix} a_{11} & \dots & a_{1j} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} \end{matrix} \tag{1}$$

В результате применения нового метода мы должны получить таблицу с уже заданными значениями для нескольких ячеек такую, как таблица 1. В традиционном мутационном тестировании каждый запуск начинается с пустой таблицы, так как мы не сохраняем результаты предыдущих запусков и, следовательно, не можем предсказать новый. Предлагаемый подход предполагает, что результаты выполнения теста должны быть идентичны предыдущим результатам, если никакие изменения не повлияли на его выполнение. Таким образом, мы переносим некоторые значения предыдущего запуска в новый, который будет основан на таблице. Сохранение результатов тестирования зависит от изменений, которые были применены к новой версии проекта.

Таблица 1.

Предопределенные результаты мутационного тестирования

| | t_0 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| m_0 | | | 1 | | |
| m_1 | | 0 | | 0 | |
| m_2 | | | | | |
| m_3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Набор тестов убивает мутанта только в том случае, когда результаты выполнения теста на мутировавшей программе $Tres_m$ отличаются от результатов на оригинальной $Tres_s$: $Tres_s \oplus Tres_m = True$. Рассмотрим мутантный оператор $m := f$, который соответствует строке программного кода. После завершения фазы генерации мутантов мы получаем набор мутантов $M = \{m_0 \dots m\}$. Описываемый подход к сокращению тестов основывается на покрытии кода тестами. $Cov(t)$ обозначает функцию поиска покрытия строк для теста; $Cov : t \rightarrow \{F'_i\}$, где $F' = \{f_n\}_{n \in \{1, \dots, size(F)\}}$ представляет собой набор строк

файла, покрываемых тестом. Когда для каждого теста определено покрытие, мы начинаем формировать сокращенный набор тестов для каждого мутанта. Тесты выбираются в соответствии с включением мутантного оператора в тестовое покрытие (2).

$$TS_i' = \{m_j \cap Cov(t_j)\}_{j \in \{0, \dots, size(TS)\}} \quad (2)$$

Последним реализуемым свойством является то, что выполнение тестового набора останавливается после того, как мутант был убит. Данный подход дает значительное снижение затрат при сохранении оценки мутации. Количество сэкономленных ресурсов соответствует (3).

$$\sum_{i=0}^{size(M)} size(TS \setminus TS_i') \quad (3)$$

Предлагаемый алгоритм

В этом разделе предложен улучшенный алгоритм на основе традиционного. В него добавлены шаги, которые, как ожидается, приведут к ускорению всего процесса тестирования мутаций. Эти шаги выделены красным цветом на рис. 2. Три из этих шагов находятся на предварительном этапе, а «вычисление мутационной оценки» является практически последним шагом.

Полученные результаты

Изучив существующие инструменты тестирования, было решено сделать модуль для одного из них. Среди большого количества публичных репозиторий Github для мутационного тестирования были найдены 4, реализованные на Python: MutPy [4], Mutatest [5], Cosmic Ray [6] и Mutmut [7]. Все они были протестированы на применимость предлагаемого метода, и только один из них был выбран. Основная функциональность этих инструментов практически одинакова и похожа на традиционный алгоритм мутационного тестирования. Их отличает ряд новых возможностей и способ реализации глубокого мутационного процесса. Исходя из сравнения возможностей инструментов был выбран Mutmut для доработки в виде модуля.

После разработки программного обеспечения его необходимо было протестировать. Проект, который используется для определения корректности работы программы, был выбран еще до начала разработки. В широком спектре общедоступных Python-проектов искались репозитории, которые поддерживаются командой, имеют сложившуюся структуру проекта и хорошую тестовую базу. Проект Flask [8] имеет широкую известность и хорошую репутацию в сообществе разработчиков. Он соответствует вышеперечисленным требованиям и поэто-

му был выбран для тестирования модифицированной программы Mutmut.

Программа Mutmut изначально тестировалась с помощью ручных тестов, а также модифицированных версий, существующих автотестов. В основном автотесты запускались для проверки новых возможностей программы, таких как генерация ограниченного числа мутантов или использование покрытия для выбора тестов. Далее программа Mutmut запускалась на проекте Flask и результаты сравнивались с оригинальной программой Mutmut.

Когда тестирование закончилось и было установлено, что программа корректно работает на Flask, можно ставить эксперимент. Основная цель эксперимента — проверить корректность предложенного метода сокращения тестовых случаев. Поскольку мы рассчитываем сократить количество выполняемых тестовых случаев, а также количество генерируемых мутантов при сохранении оценки мутации, результаты эксперимента должны показать, сохранится ли он при многочисленных запусках или нет.

Так как необходимо протестировать результаты между версиями, то мы делим историю коммитов на 6 частей. Первый коммит для проверки — это 100 коммитов от последнего коммита ветки (HEAD~100). Другие — HEAD~80, HEAD~60, HEAD~40, HEAD~20 и HEAD~0, который является последним коммитом мастер-ветви.

Результаты мутационного тестирования на проекте Flask приведены в таблице 2. Для каждой ревизии мы собрали оценку мутации (MS), время выполнения (ET) и количество созданных мутантов (CM). Как мы видим, во всех ревизиях, кроме HEAD~0, оценка мутации модифицированного Mutmut отличается от оценки мутации оригинального Mutmut не более чем на 2 %. Согласно [9], такое отклонение описывается 95 % примеров. Авторы также доказывают, что мутационная оценка образца может иметь абсолютную ошибку в 7 %, что является нормальным. Таким образом, оценка мутации HEAD~0 также удовлетворяет критерию приемлемости. Чтобы убедиться в том, что отклонение существует всегда, программа была протестирована повторно. Вновь полученная оценка мутации составила 66,5 %, что близко к оценке мутации исходной программы. Предполагается, что отклонение может быть вызвано неудачной выборкой. Среди прочих результатов можно отметить, что модифицированная программа завершилась быстрее оригинальной, за исключением первой ревизии (HEAD~100). Одним из факторов, влияющих на скорость, является уменьшение количества пар мутант — тестовый случай. Количество создаваемых мутантов меньше размера выборки, что дает выигрыш в эффективности.

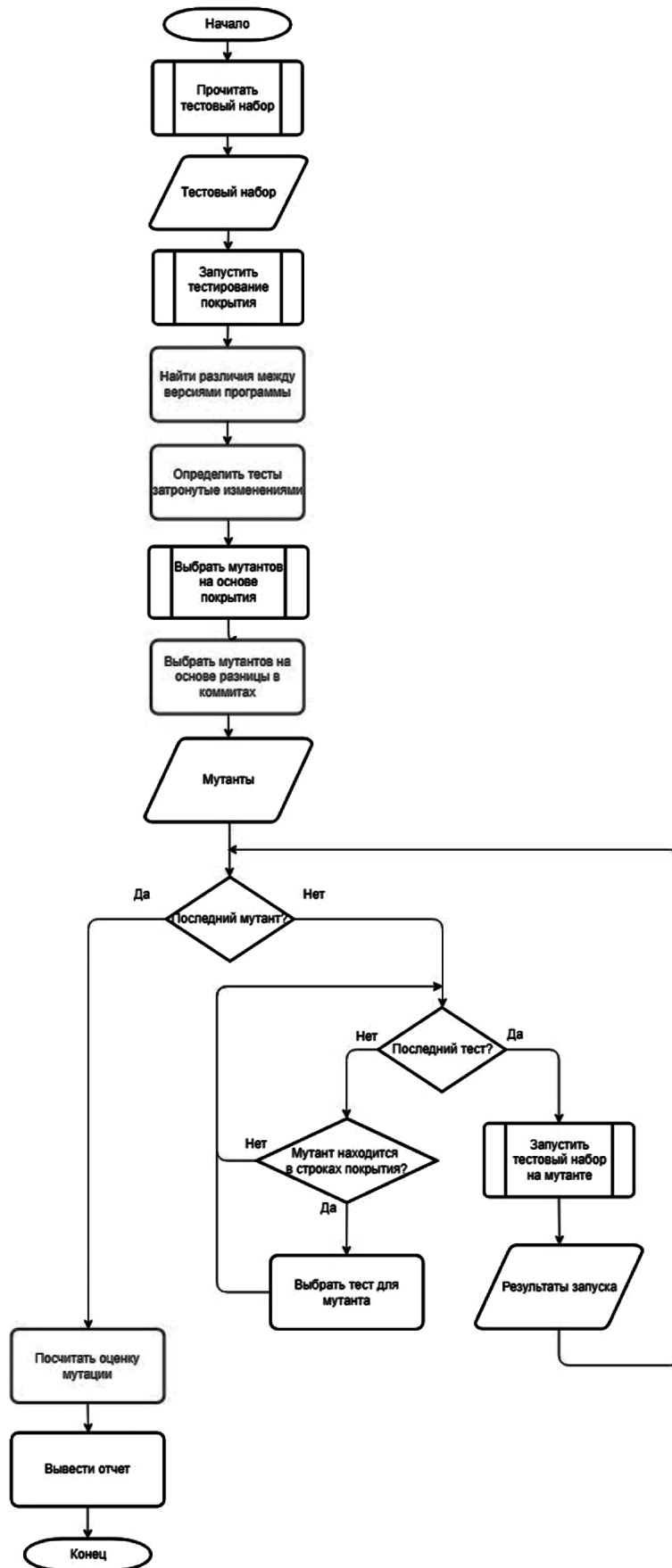


Рис. 2. Улучшенный алгоритм для мутационного тестирования

Таблица 2.

Мутационное тестирование на проекте Flask

| Ревизия | HEAD~100 | | | HEAD~80 | | | HEAD~60 | | |
|-------------------------|----------|-------|-----|---------|-------|-----|---------|-------|-----|
| Критерий | MS | ET | CM | MS | ET | CM | MS | ET | CM |
| Оригинальный Mutmut | 63,75 % | 13m8s | 400 | 61,25 % | 10m2s | 400 | 62,75 % | 9m15s | 400 |
| Модифицированный Mutmut | 63,75 % | 13m8s | 400 | 62,00 % | 9m16s | 293 | 61,25 % | 6m20s | 218 |
| Ревизия | HEAD~40 | | | HEAD~20 | | | HEAD~0 | | |
| Критерий | MS | ET | CM | MS | ET | CM | MS | ET | CM |
| Оригинальный Mutmut | 67,00 % | 8m28s | 400 | 65,00 % | 9m15s | 400 | 67,00 % | 8m34s | 400 |
| Модифицированный Mutmut | 65,00 % | 7m16s | 288 | 63,75 % | 1m43s | 29 | 61,50 % | 3m53s | 169 |

Заключение

Все цели, поставленные в начале работы, были успешно выполнены:

1. Проведено систематический анализ исследования в области сокращения тестовых наборов.
2. Разработан метод сокращения пар мутант — тест.
3. Разработана математическая модель, описывающая метод.
4. Разработан алгоритм и реализован в виде программного обеспечения.
5. Разработан эксперимент и метрики, используемые для валидации метода.
6. Проведен эксперимент на реальных проектах.

Эксперимент по проверке применимости предложенного метода показал хорошие результаты, выбранный проект демонстрирует, что можно сократить набор мутантов, проверяемых между итерациями, предсказав рез часть набора мутантов. Мы берем случайные мутанты из выборки, и размер выборки не всегда задается правильно. Мутационное тестирование — дорогостоящая процедура, и перед ее проведением тестирующим следует установить корректное количество используемых мутантов, которое будет использоваться вместо полного набора мутантов. Описанные в работе исследования показали, что выборка может быть достаточно мала, что было подтверждено и в данной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Papadakis, M., Kintis, M., Zhang, J., Jia, Y., Traon, Y. and Harman, M., 2019. Mutation Testing Advances: An Analysis and Survey. *Advances in Computers*, pp.275–378.
2. Jia, Y. and Harman, M., 2011. An Analysis and Survey of the Development of Mutation Testing. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 37(5), pp.649–678.
3. PIT (no date) Incremental analysis. Режим доступа: https://pitest.org/quickstart/incremental_analysis/ (дата обращения: 20 февраля 2024).
4. Mutpy (no date) Mutpy/Mutpy: MutPy is a mutation testing tool for python 3.x source code, GitHub. Режим доступа: <https://github.com/mutpy/mutpy> (дата обращения: 15 февраля 2024).
5. EvanKepner (no date) Evankepner/mutatest: Python mutation testing: Test your tests! safely run mutation trials without source code modifications and see what will get past your test suite., GitHub. Режим доступа: <https://github.com/EvanKepner/mutatest> (дата обращения: 15 февраля 2024).
6. Sixty-North (no date) Sixty-north/cosmic-ray: Mutation testing for python, GitHub. Режим доступа: <https://github.com/sixty-north/cosmic-ray> (дата обращения: 15 февраля 2024).
7. Boxed (no date) Boxed/Mutmut: Mutation Testing System, GitHub. Режим доступа: <https://github.com/boxed/mutmut> (дата обращения: 15 февраля 2024).
8. Pallets (no date) Pallets/flask: The Python Micro Framework for building web applications., GitHub. Режим доступа: <https://github.com/pallets/flask> (дата обращения: 10 февраля 2024).
9. R. Gopinath, A. Alipour, I. Ahmed, C. Jensen, A. Groce, How hard does mutation analysis have to be, anyway? in: 26th IEEE International Symposium on Software Reliability Engineering, ISSRE 2015, Gaithersbury, MD, USA, November 2–5, 2015, 2015, pp. 216–227.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЛУБОКОЙ АНАЛИТИКИ В УПРАВЛЕНИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ НА РОССИЙСКОМ РЫНКЕ

Харичкин Алексей Кириллович

Российский университет дружбы народов

harichkin2011@yandex.ru

FEATURES OF USING DEEP ANALYTICS IN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT IN THE RUSSIAN MARKET

A. Kharichkin

Summary. This article discusses the main trends in the automation of human resources management processes in the company. It focuses on the analysis of employee data and the external labor market, as well as the obstacles to the application of advanced analytics technologies. These obstacles include limited information availability, strict regulatory control over its use, and a lack of incentives in most organizations for in-depth research. In the main part of the paper, we present examples of popular human resources analytics tools based on big data and highlight the advantages of using machine learning algorithms. We draw conclusions about the current low level of personnel management automation, particularly regarding the loss of potential benefits from its implementation, present practical aspects of applying advanced data processing methods.

Keywords: HR analytics, human resources management systems, personnel management automation, machine learning, big data, digital transformation.

Аннотация. В данной статье рассмотрены основные тенденции автоматизации процессов управления человеческими ресурсами в компании. При этом упор сделан на аналитике данных о сотрудниках и внешнем рынке труда. Приведены ключевые препятствия в применении передовых технологий анализа, включая ограниченную доступность информации, жесткое нормативно-правовое регулирование ее использования и отсутствие в большинстве организаций стимула к проведению глубоких исследований. В основной части работы мы привели примеры популярных инструментов HR-аналитики, основанных на больших данных, и сделали акцент на преимуществах работы с алгоритмами машинного обучения. По результатам статьи были сделаны выводы о низком уровне автоматизации процессов управления персоналом, в частности о потере инкрементальных выгод от их адаптации, приведены практические аспекты применения высокоуровневых методов обработки данных.

Ключевые слова: HR-аналитика, системы управления человеческими ресурсами, автоматизация управления персоналом, машинное обучение, большие данные, цифровая трансформация.

Введение

В практике современных компаний одним из наиболее важных направлений является оценка человеческих ресурсов. Недостаток квалифицированного персонала может существенно повлиять на основную деятельность, снизив ее эффективность, и в связи с этим вызывает ряд препятствий для менеджмента, которые напрямую зависят от качества применяемых методов анализа и управления данными о работниках. По этой причине аналитика рынка труда представляет значительную часть обеспечивающих процессов в рамках отдельного предприятия. В настоящее время широкое распространение получают модели глубокой автоматизации, обрабатывающие большое количество параметров эффективности человека и не требующие постоянного вовлечения специалиста по управлению персоналом. Среди них можно выделить системы управления человеческими ресурсами (далее — HRM) в виде отдельных модулей комплексных программ и самостоятельное специализированное ПО [8, с. 143]. Они обладают широким спектром возможностей и предоставляют

обширную инфраструктуру для работы. Другой важной тенденцией является популяризация HR-аналитики, основанной на адаптации больших массивов данных в анализе рынка труда и внутренней среды самого предприятия.

Однако, использование сложных HRM-систем и методов HR-аналитики в большинстве случаев весьма затруднительно, поэтому многие организации продолжают полагаться на привычные информационно-справочные системы или автоматизируют лишь некоторую часть процессов. Так, по результатам опроса более ста российских компаний в 2022 году, 27 % из них не применяли инструменты автоматизации и 29 % не полагались на HR-аналитику [5]. Более трети использовали только базовые технологии в обоих направлениях. В целом описанные средства имеют скромную популярность на современном рынке, однако благодаря отечественным разработчикам и активной цифровой трансформации, стимулируемой на государственном уровне, обладают большим потенциалом применения.

В основной части статьи мы рассмотрим перспективы развития HR-аналитики в России и в рамках этого основное внимание уделим углубленным и предиктивным подходам, строящим сложные статистические модели эффективности работника. Также будут затронуты основные препятствия в адаптации соответствующих инструментов и в заключение представлены некоторые рекомендации по эффективной трансформации процессов управления персоналом.

HR-аналитика на современном рынке

Как уже было описано выше, механизмы HR-аналитики представляют возможность по глубокому анализу трудовых ресурсов, учитывая при этом большой набор параметров о результатах выполнения задач на рабочем месте, имеющихся опыте и образовании, семейном положении и других характеристиках человека. Однако, прежде чем перейти к самим моделям, затронем вопросы, относящиеся к характеристикам технологической базы, необходимой для работы с ними.

В первую очередь стоит сказать, что большинство технологий HR-анализа, в особенности те, которые мы будем рассматривать далее, основано на больших данных, то есть таких наборах, которые обладают свойствами разнообразия, высокой скорости поступления и большого объема. Благодаря этому исследователи могут получать неочевидные результаты и регулярно актуализировать их по мере накопления новой информации. Тем не менее, для обработки таких массивов в рамках отдельного предприятия требуется соответствующие технологии, удовлетворяющие требованиям по хранению и обработке. Касательно российского рынка, вопрос о доступности таких наработок стал особенно актуальным в условиях форсирования тенденции импортозамещения. В 2022 году, по оценкам ИСЭЗ НИУ ВШЭ, из общего числа рассмотренных организаций только 30 % использовали инструменты, связанные со сбором и анализом больших данных [1, с. 208]. При этом среди них более 53 % вообще не задействовали имеющиеся данные в операционных процессах. Такая статистика преимущественно обуславливается отсутствием четкого понимания выгод от глубокой аналитики и также невозможностью ее эффективного введения в реальную деятельность. Приверженность привычным подходам к управлению персоналом и его найму в большинстве случаев дает более осязаемый результат в контексте планирования и потому имеет весомое преимущество. Однако, при грамотной оценке инвестиций и выстраивании релевантной стратегии трансформации она может оказать положительное влияние на результаты всего бизнеса, в том числе в долгосрочном периоде.

В работе Р.А. Долженко описывается современный тренд «People Data», строящийся вокруг исследования

разнообразных данных о сотрудниках предприятия на основе сложных математических моделей [4]. Его целью является выявление скрытых зависимостей между показателями деятельности работника, опытом и социальным положением, а также прогнозирование его эффективности на основе проведенного анализа. По сути «People Data» представляет специализированное применение больших данных в области корпоративного управления и в связи с этим требует систематического подхода к организации соответствующих процессов. Однако, помимо необходимости в тщательном регулировании и релевантном техническом обеспечении, подобные модели вызывают ряд других препятствий. Так, среди ключевых проблем адаптации глубокой HR-аналитики автор отмечает строгое законодательное регулирование в отношении сбора информации о человеке и делает акцент на возможных рисках использования, заключающихся в высокой субъективности и низкой доступности. Тем не менее, при внедрении четкой регламентации обработки данных и расширении применения средств их обезличивания возможно добиться повышения производительности работников, объективизации оценки их работы, а также оптимального подхода к найму.

По своей сути HR-аналитика включает множество процессов, каждый из которых соответствует конкретным задачам, зависящим как от этапа анализа, так и от сферы исследования. Ключевыми методами при этом можно назвать обзор исторической статистики и ее дескриптивную оценку, выявление корреляционных взаимосвязей и прогнозирование [7, с. 22]. Каждый из них способен в определенной степени осветить значимые для специалиста закономерности, однако при этом имеет собственные особенности. Так, первые два являются базовыми инструментами в управлении человеческими ресурсами. Процесс их использования строится на наглядном представлении информации с целью определения текущих тенденций на рынке труда. Относительная простота приложения обуславливает их широкую популярность среди HR-аналитиков, однако они существенно ограничивают глубину выводов, адаптируя исключительно данные о прошедших событиях без дальнейшей проработки. Применение корреляционного анализа и предиктивного моделирования позволяет обойти такой недостаток. Основанные на них подходы предназначены для описания потенциала рынка и настроения людей, работающих в компании или только претендующих на вакантное место. Исследование неочевидных зависимостей значительно упрощает формирование стратегии в области HRM и делает ее более релевантной относительно реального положения предприятия.

Также стоит сказать, что важным этапом в HR-аналитике является определение качественных и количественных метрик. Для каждой организации они имеют собственные особенности и зависят от целей управле-

ния. В последнее время наиболее распространенными из них становятся срок и стоимость закрытия вакансии, уровень текучести персонала и производительность труда [3, с. 209]. Они не представляют существенных проблем в контексте расчета и сбора необходимых данных и в связи с этим могут быть проанализированы без использования специфичных средств. Однако, возвращаясь к методам глубокого исследования, отметим, что в подобных подходах принято проводить оценку более сложных, комплексных, показателей. Такие метрики требуют адаптации соответствующих программных средств и аналитических моделей, частными примерами которых служат инструменты машинного обучения, нейросетевые технологии, классические методы теории игр и динамической оптимизации. Одним из ключевых направлений в данном контексте является предиктивный анализ. Его цель состоит в предсказании тенденций рынка труда и поведения сотрудников в самой компании. Несмотря на большую долю предприятий, не знакомых с такими инструментами, в ближайшее время ситуация может существенно измениться, в частности благодаря нарастающему потенциалу российских цифровых технологий. В следующей главе мы уделим этому тренду более пристальное внимание и выделим алгоритмы, способные расширить возможности HR-специалистов.

Предиктивная аналитика в области HRM

По своей сути предиктивный анализ в области управления человеческими ресурсами призван помогать бизнесу в принятии эффективных управленческих решений с целью предотвращения неявных угроз и достижения оптимальных результатов путем использования неочевидных зависимостей. Тем не менее, его внедрение не гарантирует решение краткосрочных задач и не может в полной мере обеспечить стабильное прогнозирование. Однако, выработка детального понимания предиктивных методов и построение грамотной управленческой схемы существенно снизят риски компании в вопросах найма, развития персонала, его удержания и вовлечения. В статье «Предиктивная аналитика как инструмент прогнозирования в HR-менеджменте» отмечается, что для реализации подобных моделей в организации необходимо сформировать комплексный подход, в общем случае представленный следующими этапами: выбор цели анализа и подготовка релевантных гипотез, подбор источников сбора данных, проведение анализа статистики и построение прогностических моделей с последующей реализацией управленческих решений [2, с. 201]. Каждая стадия представляет качественную и количественную оценку процесса исследования, нацеленную на максимизацию его эффекта. Несомненно, для поддержания высокого уровня аналитики важно иметь адекватные информационные системы, средства хранения данных и анализа, а также квалифицированных специалистов. Однако, эти вопросы более целесоо-

бразно осветить в отдельной статье, — в данной работе мы затронем способы использования прогнозов в HRM и сделаем упор на ключевом методологическом элементе, машинном обучении.

Ранее мы уже кратко описывали положительные стороны предиктивных методов и то, как их можно внедрять на практике, теперь обратимся к более конкретным аспектам. Так, основными сферами прогнозирования являются: текучесть кадров, удержание персонала, риск-факторное моделирование и управление талантами [10, с. 34]. Практически в любом из них важную роль играет формирование профилей сотрудников, отражающих их принадлежность к определенной группе и аккумулирующих отличительные характеристики каждого работника. Целью этого процесса представляется систематическое разграничение потенциала человеческих ресурсов и выявление наиболее перспективных путей развития компании в данном контексте. Средства профилирования находят применение также и в других сторонах бизнеса, в частности в клиентской аналитике, закупках и т. д. Их важная особенность заключается в адаптивности к определенным задачам и специфике самого предприятия. Однако, наравне с другими прогрессивными подходами такие модели требуют специального ПО, доступа к данным и адаптации релевантных средств анализа. Далее сконцентрируем внимание на последнем аспекте.

В данной работе «средства анализа» подразумевают набор методологических инструментов исследования данных о человеческих ресурсах, которыми располагает организация, включая также информацию о состоянии рынка. Как одно из наиболее быстрорастущих направлений, мы рассмотрим комплекс методов машинного обучения и то, как он может быть внедрен в реальной деятельности. С теоретической точки зрения, его суть состоит в формировании высокоуровневых алгоритмов, способных проявлять гибкость к изменениям различных параметров задачи в процессе тестирования гипотез и последующей реализации. На практике машинное обучение в первую очередь направлено на эффективную обработку больших объемов данных и выведение обоснованных выводов с параллельной минимизацией потенциальных затрат такой аналитики. При его применении у компании появляется возможность оптимизировать большинство процессов, основанных на регулярной аналитике. Вопросы, связанные с персоналом, не исключение.

Возвращаясь к профилированию сотрудников, отметим популярный метод иерархической кластеризации [9]. Он заключается в выделении из изначального набора данных групп схожих по заранее определенным критериям. Часто иерархическую кластеризацию дополняют определением агломерации, означающим восходящее объединение наблюдаемых объектов в кластеры, кото-

рые в последствие также собирают в более крупные совокупности. Относительно дивизионных моделей такой подход используется более часто, так как наглядно отражает качественный переход в неявных зависимостях, существующих в группах на различных уровнях наблюдения. Результат его применения можно визуализировать в виде схематической дендрограммы, численно выражающей оцененные параметры. В ходе использования кластеризации на практике специалисты HR имеют возможность управлять гибкостью анализа благодаря определению целевых значений переменных, опираясь при этом на конкретные условия проблемы. Также дополним, что в большинстве случаев компания вынуждена принимать решения в отсутствие стабильной экономической обстановки и при невозможности опоры исключительно на текущий момент времени. Рынок труда, как и все общество, крайне волатилен. Практически невозможно заранее определить человека как лучшего кандидата на должность или узнать о его желании сменить место работы. В такой ситуации кластеризация помогает выводить эвристики без изначально предполагаемого ответа, утилизируя имеющуюся информацию о косвенных факторах. Так, основным направлением ее приложения в HR является объединение людей в группы по потенциалу развития или степени благосклонности к компании, а также в области найма при анализе кандидатов.

Обозначим пример другого алгоритма машинного обучения, деревьев решений. Его отличительной чертой можно назвать наличие predetermined значений искомого параметра в ходе обучения моделей. По сравнению с кластеризацией этот подход способен реализовывать как регрессионные задачи, так и классификацию. Также он обладает большей степенью прозрачности, так как на каждом этапе продвижения по дереву аналитик может отследить критерий выбора «ветви» и настроить его по собственным требованиям. Деревья решений существенно упрощают автоматизацию найма рабочей силы и заслуживают отдельного внимания в этом контексте. Один из способов их использования продемонстрирован в работе И.Н. Калиновской [6]. Автор описывает создание интеллектуальных диалоговых систем, построенных на основе машинного обучения, и то, как они способствуют в формировании автоматизированных систем рекрутинга (далее — АСР). С практической точки зрения, АСР представляют высокоуровневые HRM-структуры, призванные обеспечить полный цикл найма персонала. Содержательно они включают следующие стадии аналитики: предварительное исследование доступных резюме и их скрининг по заданным критериям, осуществление контакта с соискателем и первоначальный анализ потенциала, назначение дальнейших шагов взаимодействия с ответственными специалистами и заключительный анализ осуществленного процесса. Говоря о диалоговых системах, отметим, что такие технологии преимущественно задействуются на частных этапах, та-

ких как анализ резюме или проведение интервью. В ходе получения обратной связи от человека они обрабатывают поступившие сигналы и по заданной схеме отправляют соответствующий комментарий. Как в случае диалоговых систем, так и относительно АСР, деревья решений формируют эффективный цифровой каркас моделей. Они предоставляют средства, с помощью которых организация очерчивает нужные ей границы поиска и благодаря этому может предсказывать, какое влияние окажут различные варианты действий. Важно подчеркнуть, что деревья решений являются обширным инструментом обработки данных и, несмотря на это, не требуют больших ресурсных вливаний. При наличии проработанного подхода и релевантной квалификации у сотрудника подобные методы значительно сокращают издержки однообразных процессов и высвобождают ресурсы для иных задач.

Заключение

По итогам данной статьи мы рассмотрели ключевые тенденции рынка автоматизированных систем управления человеческими ресурсами и выделили некоторые препятствия в его дальнейшем развитии. Так, российский рынок характеризуется сравнительно небольшой популярностью комплексного специализированного ПО в HRM-процессах. На практике большинство компаний привержены базовым подходам в аналитике, таким как хранение и обработка данных в статичных справочно-информационных системах или анализ исключительно исторической информации с опорой на явные зависимости. Как было упомянуто выше, определенное влияние на данную ситуацию оказывают институциональные препятствия, связанные с особенностями законодательного регулирования и доступностью персональных данных населения, а также внутренние ограничения применяемых технологических средств и отсутствие соответствующих навыков у специалистов.

Несмотря на это, уже сейчас мы можем наблюдать рост доверия к продвинутым инструментам в этой сфере. В 2022 году более 17 % от общего числа рассмотренных предприятий адаптировали в своей деятельности информационные системы по управлению персоналом (далее — HRIS) [1, с. 193]. Относительно предыдущего периода доля увеличилась на 13 п. п. Такая динамика отражает существенное усиление интереса менеджмента к детальному исследованию трендов рынка труда, а также повышение общего уровня экспертизы в направлении HRM. С прикладной точки зрения, программные комплексы HRM и затронутые HRIS предназначены для выведения эвристических фактов о сотрудниках на основе доступной информации об их социальном положении и о самом качестве работы. Однако, важную роль в этом занимают выбор и подход к использованию методов исследования данных.

Во второй части работы мы привели обзор основных особенностей машинного обучения при его адаптации к задачам анализа сотрудников. В частности, мы уделили внимание алгоритмам кластеризации и решающих деревьев, которые предлагают большую вариативность в выведении неявных закономерностей и построения прогнозов. В дополнение к этому отметим, что методы машинного обучения этим не ограничиваются. В качестве иных высокоэффективных средств можно привести примеры регрессионных и байесовских подходов. На более высоком уровне аналитики также возможно адаптировать ансамблирование различных по природе алгоритмов.

Все вышеперечисленное представляет собой обширный методологический пласт, на основе которого компания может выстраивать комплексные процессы управления человеческими ресурсами. В текущей статье мы указали, что для оптимального приложения глубокой HR-аналитики необходимо сформировать системный подход к ее организации, включая повышение качества данных, поддержание их доступности, обеспечение осведомленности специалистов о возможностях передовых методов и выбор для этого наиболее эффективных технологий обработки. Таким образом с адекватной приоритизацией инвестиций компания сможет добиться долгосрочного роста всей деятельности бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Индикаторы цифровой экономики: 2024: статистический сборник / В.Л. Абашкин, Г.И. Абдрахманова, К.О. Вишневский [и др.]; НИУ ВШЭ. — Москва: ИСИЭЗ ВШЭ, 2024. — 276 с.
2. Предиктивная аналитика как инструмент прогнозирования в HR-менеджменте / Е.А. Беляева, Е.В. Лысенко, Е.А. Труфакина [и др.] // Весенние дни науки: сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых. — Екатеринбург, 2023. — Издательство Издательский Дом «Ажур», 2023. — С. 200–203.
3. Гальвик, Н.Е. HR-аналитика как основной тренд развития в области анализа расчётов организации с персоналом и управления персоналом / Н.Е. Гальвик // Журнал «У». Экономика. Управление. Финансы. — 2023. — №. 1. — С. 204–211.
4. Долженко, Р.А. People Data («данные о людях») как новое направление работы с человеческими ресурсами / Р.А. Долженко // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». — 2019. — №. 1. — С. 63–72.
5. Как компании используют HR-аналитику: исследование hh.ru // hh.ru: офиц. сайт. 22.07.2022. URL: <https://clck.ru/39sSem> (дата обращения: 30.03.2024).
6. Калиновская, И.Н. Цифровой рекрутинг с использованием интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах машинного обучения / И.Н. Калиновская // Цифровая трансформация. — 2021. — № 1 (14). — С. 24–34.
7. Прозоровская, К.А. HR-аналитика и анализ больших данных в системе управления персоналом: монография / К. А. Прозоровская. — СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2023. — 116 с.
8. Савельева, А.В. Автоматизация управления персоналом предприятия / А.В. Савельева // Управленческий учет. — 2024. — №. 2. — С. 141–147.
9. Cui, J., Gu, Y. Application of Machine Learning in Digital Human Resource Management / J. Cui, Y. Gu // SHS Web of Conferences. — EDP Sciences, 2023. — Vol. 170. — P. 1–5.
10. Lama, D.R., Mishra, S.N., Pal, Y. Human Resource Predictive Analytics (HRPA) for HR management in organizations / D.R. Lama, S.N. Mishra, Y. Pal // International Journal of Scientific & Technology Research. — 2016. — Vol. 5. — №. 5. — P. 33–35.

© Харичкин Алексей Кириллович (harichkin2011@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ СИАМСКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ КАК МОДУЛЬ МНОГОФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

SIAMESE NEURAL NETWORK-BASED USER IDENTIFICATION AS A MULTIFACTOR AUTHENTICATION MODULE FOR COMPLEX ECONOMIC SYSTEMS

**P. Kharlamov
O. Kharlamova
E. Lavrova**

Summary. The object of the study is the information security of business processes of transferring data subject to trade secrets in complex economic systems, such as territorial scientific and industrial clusters. The subject of the study is to develop a method of user identification based on Siamese neural networks as a module (factor) of multifactor authentication to ensure information security of business processes of data transmission, with the regime of trade secrets, in complex economic systems. The relevance of the problems stems from the need to improve the existing mechanisms and tools for information security in the transfer of data containing trade secrets between organizations within a complex economic system, such as a territorial scientific and industrial cluster, as the existing methods have a number of significant vulnerabilities, such as a «dictionary attack», are characterized by low accuracy in carrying out user identification. The aim of the study is to develop a method of user identification based on Siamese neural networks as a module of multifactor authentication for complex economic systems. A methodological framework for the application of the method of user identification based on Siamese neural networks for complex economic systems is proposed. A method for user identification based on Siamese neural networks as a module for multifactor authentication of complex economic systems such as territorial scientific and industrial clusters is developed. The conclusion about the effectiveness of the developed method of user identification based on Siamese neural networks as a module of multifactor authentication in providing information security of data transfer processes, constituting trade secrets in complex economic systems is made.

Keywords: information security, multifactor authentication, complex socio-economic systems, territorial science and industry clusters, data validation, artificial neural networks, Siamese neural networks, business secrets data.

Харламов Павел Сергеевич

младший научный сотрудник, преподаватель,
Смоленский филиал РАНХиГС;
магистрант, филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Смоленск
pavel_kharlamov.mp67@mail.ru

Харламова Ольга Евгеньевна

Преподаватель, Смоленский филиал РАНХиГС
o.e.kharlamova@mail.ru

Лаврова Елена Викторовна

кандидат экономических наук, доцент,
Смоленский филиал РАНХиГС
e.v.lavrova@list.ru

Аннотация. Объектом исследования выступает информационная безопасность бизнес-процессов передачи данных, составляющих коммерческую тайну, в сложных экономических системах, таких как территориальные научно-промышленные кластеры. Предметом исследования является разработка метода идентификации пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуля (фактора) многофакторной аутентификации для обеспечения информационной безопасности бизнес-процессов передачи данных, имеющих режим коммерческой тайны, в сложных экономических системах. Актуальность проблематики обусловлена необходимостью совершенствования существующих механизмов и инструментов обеспечения информационной безопасности при передаче данных, содержащих коммерческую тайну, между организациями, входящими в сложную экономическую систему, например, в территориальный научно-промышленный кластер, поскольку существующие методы имеют ряд значительных уязвимостей, например, к «атаке по словарю», характеризуются низкой точностью при осуществлении идентификации пользователя. Цель исследования заключается в разработке метода идентификации пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуля многофакторной аутентификации для сложных экономических систем. Предложена методологическая основа применения метода идентификации пользователя на основе сиамских нейронных сетей для сложных экономических систем. Разработан метод идентификации пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуль многофакторной аутентификации для сложных экономических систем, таких как территориальные научно-промышленные кластеры. Сделан вывод об эффективности внедрения разработанного метода идентификации пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуля многофакторной аутентификации при обеспечении информационной безопасности процессов передачи данных, составляющих коммерческую тайну, в сложных экономических системах.

Ключевые слова: информационная безопасность, многофакторная аутентификация, сложные социально-экономические системы, территориальные научно-промышленные кластеры, валидация данных, искусственные нейронные сети, сиамские нейронные сети, данные, составляющие коммерческую тайну.

Введение

Режим коммерческой тайны в настоящее время установлен во многих организациях, прежде всего в организациях промышленного сектора. Введение ограничения доступа к информации обусловлено ее существенным значением в получении коммерческой выгоды, например, улучшения финансового результата организации, в том числе чистой прибыли организации, улучшения положения на рынке и завоевания большей доли рынка. Большинство организаций, действуя в соответствии с законодательством Российской Федерации, ограничивают лишь количество работников, допущенных к информации, имеющей гриф коммерческой тайны. Однако простое количественное ограничение доступа обеспечивает защищенность указанных данных только в организациях малого бизнеса. Средний и крупный бизнес, осуществляя различные взаимодействия со стейкхолдерами по коммуникационным каналам, подвержен совершенно иным рискам утечки данных, содержащих коммерческую тайну. Прежде всего, рассматривая данную проблему, можно отметить утечку информации такого вида по каналам коммуникации (телекоммуникации) во время реализации бизнес-процесса передачи данных с помощью различных информационных технологий. Вышесказанное справедливо не только для среднего и большого бизнеса, но и для сложных экономических систем, представляющих собой взаимосвязь социально-экономических субъектов.

Главная особенность сложных экономических систем, представленных совокупностью организаций и социально-экономических субъектов, состоит в большом количестве каналов взаимосвязи, созданных с помощью различных телекоммуникационных технологий, например, с помощью многоканальных телекоммуникационных сетей, сетей Intranet и Extranet, а также с помощью почтовых серверов (например, электронной почты), веб-приложений, корпоративных информационных систем. В связи с этим можно констатировать наличие выделенного самостоятельного вспомогательного бизнес-процесса передачи данных в условиях установленного режима коммерческой тайны. Одним из примеров сложной экономической системы являются территориальные научно-промышленные кластеры. Так, в рамках данной системы строится сеть каналов взаимосвязи и взаимодействия на относительно не удаленном расстоянии в пределах одного или нескольких смежных субъектов Российской Федерации между организациями промышленного сектора экономики и научно-исследовательскими организациями. Указанное предполагает, в том числе, и разработку инновационных технологий производства, способных обеспечить конкурентоспособность организаций промышленного сектора, а также конкурентоспособность отдельных видов производимой продукции. Отметим, что вышеуказанная технология производства

в большинстве случаев составляет коммерческую тайну и требует обеспечения высокой степени информационной безопасности при ее передаче от научно-исследовательской организации к организации промышленного сектора, входящих в один территориальный научно-промышленный кластер.

Соответственно, рассматривая сеть каналов взаимосвязи и взаимодействия по передаче данных между элементами сложных экономических систем (организаций и их подразделений, а также иных социально-экономических субъектов, входящих в сложную экономическую систему), можно говорить об широком разнообразии данных каналов и необходимости универсального метода обеспечения информационной безопасности бизнеса-процесса передачи данных, составляющих коммерческую тайну. В настоящее время большинство подобных организаций используют уже существующие методы, связанные с разверткой частных виртуальных сетей VPN и обеспечением изоляции основного соединения — использование прикладных протоколов Point-to-Point Protocol (PPTP), Layer 2 Tunneling Protocol (L2TP), Secure Socket Tunneling Protocol (SSTP), Internet Key Exchange (IKEv2). Однако они имеют ряд серьезных уязвимостей (например, прикладной протокол PPTP уязвим к атакам по словарю и атакам типа Bit-flipping), что не позволяет их использовать в сложных экономических системах для обеспечения соответствующего уровня информационной безопасности.

Одним из вариантов решения вышеуказанной проблемы является разработка метода многофакторной аутентификации. Каналы аутентификации при использовании данного метода должны исходить из элементов идентификации сотрудника, принятых в организации. Например, если организация использует для идентификации личную подпись сотрудника, то канал аутентификации должен включать модуль аутентификации по личной подписи сотрудника. При этом в большинстве случаев идентификация сотрудников, связана с анализом исходных изображений или данных, эффективным инструментом для реализации которой являются нейронные сети, прежде всего, сиамские нейронные сети [1–2].

Сиамские нейронные сети как инструмент идентификации

Как отмечено ранее, в настоящее время нейронные сети стали эффективным инструментом идентификации пользователя, работающего стойкой или иной информационной системой. На вход в нейронную сеть могут подаваться различные данные, однако для задачи идентификации наилучшим образом подходят следующие данные [3–4]:

- числовые последовательности, характеризующие идентификационный номер пользователя;

— изображения, содержащие различную информацию о пользователе (например, его биометрические данные или личную подпись).

Следует отметить, что в большинстве случаев числовые последовательности, передающиеся на входной слой нейронной сети, представляют собой изображения рукописного ввода чисел.

Однако для работы нейронной сети, например, сверточных нейронных сетей, с изображениями необходимы внушительные наборы обучающих данных, что не представляется возможным при решении задачи идентификации пользователя в организации: зачастую в нейронную сеть может быть подан лишь один учебный предмет (исходное изображение или образец), характеризующий конкретно взятого пользователя. В связи с этим в настоящее время разработан специальный тип нейронной сети — сиамская нейронная сеть, использующаяся в случаях, когда в каждом классе объектов для идентификации мало единиц данных. Более того, сиамская нейронная сеть для введенного рукописного текста (подписи или числовой последовательности) обеспечивает возмож-

ность динамического и корректного распознавания текста, идентифицируя пользователя независимо от скорости письма, угла наклона и правильности написания символьных структур [5–7]. На рисунке 1 представлена структура нейронной сети, которая будет использоваться в разрабатываемом методе идентификации пользователя в условиях режима коммерческой тайны на основе сиамских нейронных сетей для сложных экономических систем, таких как территориальные научно-промышленные кластеры. Сиамская нейронная сеть будет иметь две идентичных подсети с одинаковыми параметрами и весами.

Разработка метода идентификации пользователя в условиях режима коммерческой тайны на основе сиамских нейронных сетей для сложных экономических систем

Для решения поставленной задачи обеспечения высокого уровня информационной безопасности процессов передачи данных, содержащих коммерческую тайну, между элементами (организациями) сложных экономических систем предлагается использование разрабо-

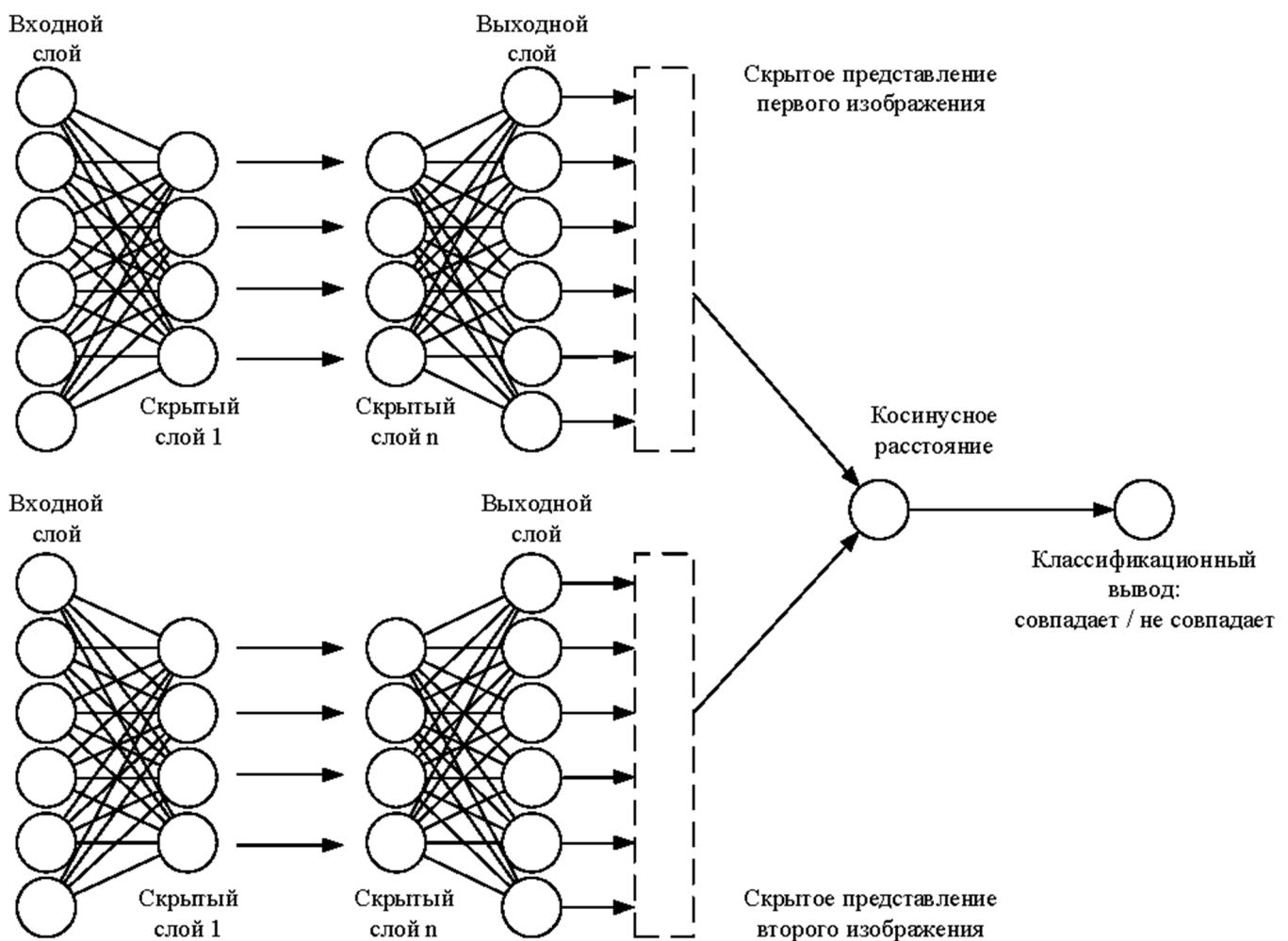


Рис. 1. Структура сиамской нейронной сети, использующейся в разработанном методе идентификации пользователя

танного авторами метода идентификации пользователя в условиях режима коммерческой тайны на основе сиамских нейронных сетей.

В основу метода положены сверточные сиамские нейронные сети, ориентированные на использование изображений в качестве входных данных. Используемая в разработанном методе сиамская нейронная сеть содержит две идентичные подсети, имеющие одну и ту же конфигурацию с одинаковыми параметрами и весовыми коэффициентами, при этом обновление параметров отражается в обеих подсетях [9-10]. При получении входных данных в виде изображения сиамская нейронная сеть отображает их как n -мерный массив данных. Основным принципом ее работы при обучении является ориентированность на демонстрации такого сопоставления, чтобы данные точек из разных классов (образцов изображений, характеризующих личную информацию о сотрудниках организаций, являющихся элементами сложной экономической системы) были расположены как можно дальше при расчете косинусного расстояния, в то время как данные точек из одного класса находились как можно ближе в полученном n -мерном массиве.

В качестве метода обучения был выбран метод обратного распространения ошибки, реализованный в виде последовательности следующих действий:

- прямое распространение сигнала по сиамской нейронной сети, вычисление состояния нейронов сети;
- вычисление значения ошибки нейрона для входного слоя используемой сиамской нейронной сети;
- обратное распространение ошибки нейрона, последовательный расчет ошибки нейрона скрытого слоя сиамской нейронной сети от конца к началу для всех скрытых слоев;
- обновление весовых коэффициентов сиамской нейронной сети на вычисленную на предыдущем этапе ошибку нейрона скрытого уровня.

В качестве функции активации использована сигмоидальная функция, позволяющая усиливать слабые (нечеткие или размытые фрагменты изображений) входные сигналы сиамской нейронной сети. Используемая в методе функция ошибки — binary cross entropy (BCE) [11–13] с повышением ответственности и чувствительности к выборке сиамской нейронной сети, рассчитывается по формулам (1–3), в которой $y_{исх.}$ — n -массив с бинарными значениями «Истинное (исходное) множество», $y_{пред.}$ — n -массив с бинарными значениями «Множество предсказанных значений».

$$BCE = -(p_1 \cdot (1 - recall) + recall \cdot p_2) \quad (1)$$

$$p_1 = y_{исх.} \cdot \log(y_{пред.}) \quad (2)$$

$$p_2 = (1 - y_{исх.}) \cdot \log(1 - y_{пред.}) \quad (3)$$

Формулы (1–3) являются модификацией классического метода расчета BCE. Данная модификация обусловлена необходимостью дифференциации отклика сиамской нейронной сети и особым акцентом на высокую достоверность и точность распознавания сети при работе с изображениями, в частности, изображениями, содержащими личную подпись сотрудника.

Разработанный вышеприведенный алгоритм применим для метода идентификации пользователя в условиях режима коммерческой тайны на основе сиамских нейронных сетей для сложных экономических систем, таких как территориальные научно-промышленные кластеры в двух вариациях, выделение которых основано на определении типа входных данных сверточной сиамской нейронной сети и на реальных процессах верификации сотрудников в организации-участнике кластера:

- метод идентификации пользователя по биометрическим данным (сканирование лица и т.д.) на основе сиамских нейронных сетей;
- метод идентификации пользователя по личной подписи, поставленной в рукописном исполнении на сенсорном экране, на основе сиамских нейронных сетей.

Эффективным и более достоверным является использование данного метода обеспечения информационной безопасности в комплексе программных решений. В связи с чем необходима интеграция метода в качестве программного модуля в многофакторную аутентификацию пользователя [15–16]. Одним из вариантов многофакторной аутентификации является использование следующих каналов аутентификации, реализованных в виде модулей аутентификации, не требующих активного интернет-соединения (рисунок 2):

- модуль аутентификации по биометрическим данным сотрудника (распознавание отпечатка пальца по ранее занесенным данным) на основе Windows 10 Credential Provider;
- модуль аутентификации по личной подписи сотрудника (в качестве исходной подписи (образца подписи) используется подпись, поставленная сотрудником во время ознакомления его с действующим режимом коммерческой тайны) на основе сиамских нейронных сетей;
- модуль аутентификации посредством применения сотрудником USB-токена.

В данном методе важным является расчет функции потерь для сиамской нейронной сети, реализованной с помощью программного кода, представленного в листинге 1 и написанного на языке высокого уровня Python. Также важным является добавление в метод обратного распространения ошибки оптимизатора для

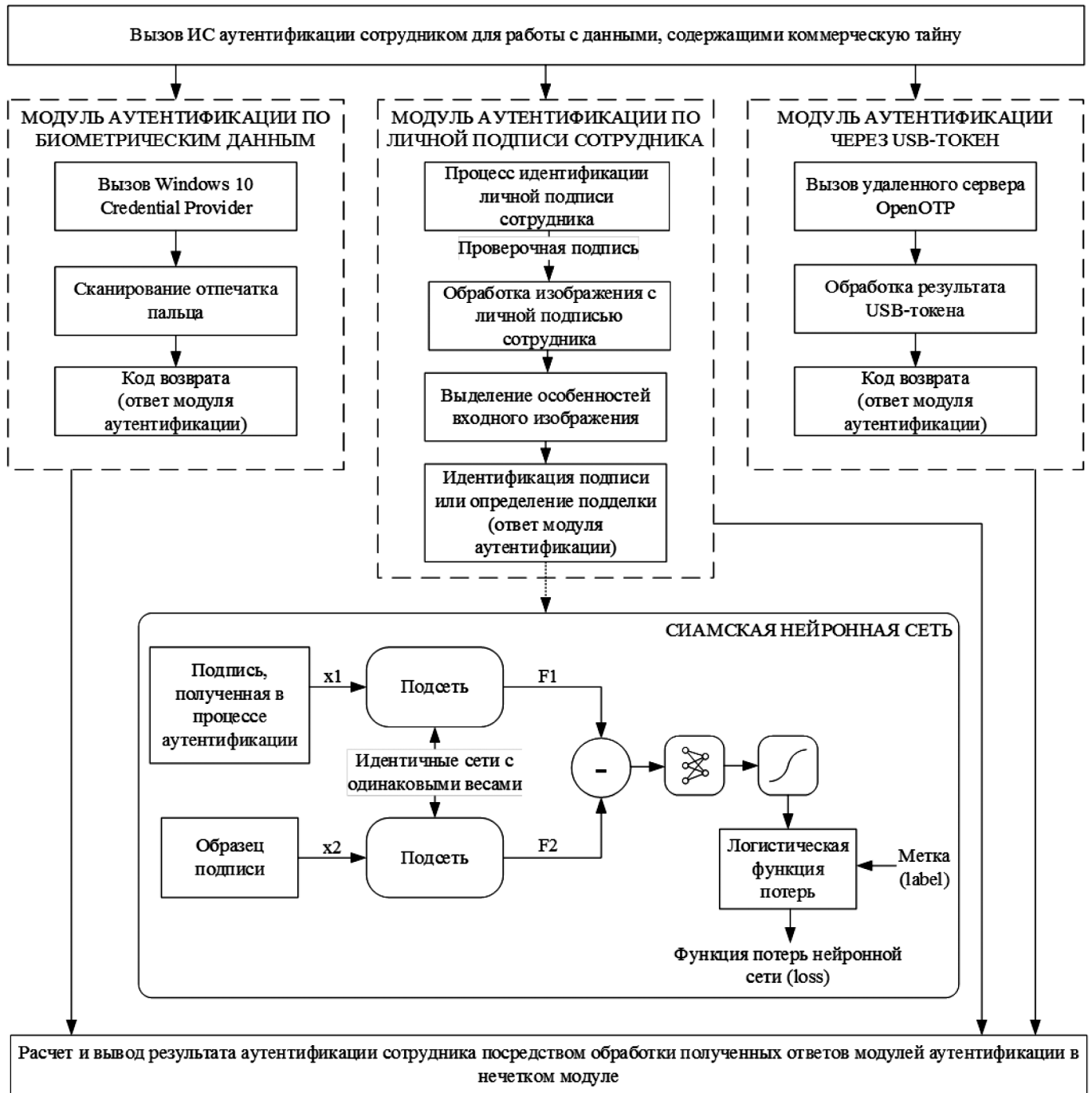


Рис. 2. Схема процесса аутентификации сотрудника с помощью метода многофакторной аутентификации, обеспечивающего информационную безопасность бизнес-процессов передачи данных, составляющих коммерческую тайну, в сложных экономических системах

обновления весовых коэффициентов и расчета показателей для каждой подсети применяемой сверточной сиамской нейронной сети [17–18].

На рисунке 3 представлен оконный интерфейс разработанной информационной системы с результатами работы метода аутентификации по личной подписи сотрудника на основе сиамских нейронных сетей.

Листинг 1

Программный код вычисления функции потерь для сиамской нейронной сети при идентификации пользователя

```
class ContrastiveLoss(torch.nn.Module):
    <<>>
    Contrastive loss function.
    Based on:
```



Рис. 3. Аутентификация сотрудника по личной подписи, используя метод аутентификации на основе сиамских нейронных сетей: а) успешной аутентификации подписи: б) неуспешной аутентификации подписи

«»»

```
def __init__(self, margin=1.0):
    super(ContrastiveLoss, self).__init__()
    self.margin = margin
    def forward(self, x0, x1, y):
        # euclidian distance
        diff = x0 - x1
        dist_sq = torch.sum(torch.pow(diff, 2), 1)
        dist = torch.sqrt(dist_sq)
        mdist = self.margin - dist
        dist = torch.clamp(mdist, min=0.0)
        loss = y * dist_sq + (1 - y) * torch.pow(dist, 2)
        loss = torch.sum(loss) / 2.0 / x0.size()[0]
        return loss
```

Результаты работы метода аутентификации по личной подписи сотрудника на основе сиамских нейронных сетей включают результат аутентификации («личная подпись совпадает» или «личная подпись не совпадает»), а также численный показатель вероятности совпадения с образцом подписи (по шкале от 0.0000 до 1.0000), который может быть передан в нечеткий модуль принятия решения о результатах аутентификации.

Заключение

Поставленная проблема обеспечения информационной безопасности при передаче данных, содержащих коммерческую тайну, между организациями-участниками сложных экономических систем, таких как территориальные научно-промышленные кластеры, в настоящее время решается методами, связанными с разверткой частных виртуальных сетей VPN и обеспечением изоляции основного соединения — использование приклад-

ных протоколов PPTP, L2TP, SSTP, IKEv2. Однако по ранее отмеченным причинам они имеют ряд серьезных уязвимостей, что не позволяет их эффективно использовать в сложных экономических системах для обеспечения соответствующего уровня информационной безопасности.

Предложенный вариант решения вышеуказанной системы — многофакторная аутентификация с применением метода идентификации личности сотрудника на основе сиамских нейронных сетей как модуля аутентификации. Предложенная авторами идентификация по личной подписи сотрудника является одним из вариантов данного метода, выбор вариации (например, идентификация по личной подписи или идентификация по биометрическим данным — по изображению лица сотрудника) обосновывается принятым в организации стандартам идентификации. Предложенный способ идентификации подписей сотрудников организации показал свою работоспособность и высокую точность. Более того, предложенный способ возможно использовать в качестве модуля (канала) аутентификации при использовании многофакторной аутентификации, поскольку выходом модуля является показатель вероятности совпадения анализируемой подписи с образцом подписи из набора используемых образцов при обучении сиамской нейронной сети. Соответственно, указанный показатель может использоваться в модуле принятия решения об успешной или не успешной аутентификации сотрудника или пользователя системы, которому предоставлен доступ к данным, содержащим коммерческую тайну, при их передаче между организациями-участниками сложной экономической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dli M., Puchkov A., Meshalkin V., Abdeev I., Saitov R., Abdeev R. Energy and Resource Efficiency in Apatite-Nepheline Ore Waste Processing Using the Digital Twin Approach. *Energies*, 2020, 13, 5829.
2. Puchkov A., Dli M., Lobaneva E., Fedulov Y. Monitoring the Granulometric Composition on the Basis of Deep Neural Networks. In: Zamojski W., Mazurkiewicz J., Sugier J., Walkowiak T., Kacprzyk J. (eds) *Theory and Engineering of Dependable Computer Systems and Networks. DepCoS-RELCOMEX 2021. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, vol. 1389. Springer, Cham.
3. Su-Chang L., Jun-Ho H., Jong-Chan K. Deep Feature Based Siamese Network for Visual Object Tracking // *Energies*. 2022. № 15(17). P. 6388.
4. Vanita J., Prakhar G., Aditya C., Manas B., Hemanth D. Jude. A Modified Deep Convolution Siamese Network for Writer-Independent Signature Verification // *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*. 2022. № 30(3). P. 479–498.
5. Zhang X., Wu Z., Xie L., Li Y., Li F., Zhang J. Multi-path siamese convolution network for offline handwritten signature verification // *ACM International Conference Proceeding Series*, 2022, p. 51–58.
6. Vorugunti C.S., Devanur G.S., Mukherjee P., Pulabaigari V. OSVNet: Convolutional siamese network for writer independent online signature verification. Paper presented at the Proceedings of the International Conference on Document Analysis and Recognition, ICDAR, 2019, p. 1470–1475.
7. Rateria A., Agarwal S. Off-line signature verification through machine learning // *The 2018 5th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering, UPCON*, 2018, 8597090.
8. Zhang H., Piao Y., Huang B., Tan B. SiamMBFAN: Siamese tracker with multi-branch feature aggregation network // *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 2022, 89, 103671.
9. Han S., Shi L., Richie R., Tsui F.R. Building siamese attention-augmented recurrent convolutional neural networks for document similarity scoring // *Information Sciences*, 2022, 615, 90–102.
10. Sha Y., He Z., Gutierrez H., Du J., Yang W., Lu X. The intelligent detection method for flip chips using CBN-S-net algorithm with SAM images // *Journal of Manufacturing Processes*, 2022, 83, 60–67.
11. Kalsekar A., Khade R., Jariwala K., Chattopadhyay C. RISC-net: Rotation invariant siamese convolution network for floor plan image retrieval. *Multimedia Tools and Applications*, 2022, 81(28), 41199–41223.
12. Hong D., Gao L., Yao J., Yokoya N., Chanussot J., Heiden U., Zhang B. Endmember-guided unmixing network (EGU-net): A general deep learning framework for self-supervised hyperspectral unmixing // *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 2022, 33(11), 6518–6531.

© Харламов Павел Сергеевич (pavel_kharlamov.mp67@mail.ru); Харламова Ольга Евгеньевна (o.e.kharlamova@mail.ru);
Лаврова Елена Викторовна (e.v.lavrova@list.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСА ДЕЙСТВИЙ ПО ИЗМЕНЕНИЮ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЯ В ПРОЦЕССЕ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ¹

OPTIMIZATION MODEL OF TARGETS FOR THE COMPLEX OF ACTIONS ON CHANGING THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE PRODUCT DURING ITS MANUFACTURE

I. Khrustaleva
M. Khrustalev
V. Khokhlovskiy
V. Shkodyrev
L. Chernyh

Summary. The work addresses the issues of multi-criteria optimization of the target indicators of the manufacturing process of products on metal-cutting machines. The effectiveness of the optimization process directly depends on its level of detail and the optimal choice of targets and control parameters. The process of changing the structure and properties of the product during its manufacture can be represented as a hierarchical model based on the decomposition of goals that must be achieved within the framework of the selected control levels. This goal hierarchy ultimately improves process efficiency through detailed analysis and optimization of targets for individual structural elements of the model. This describes a multi-level hierarchical model for optimizing the machining process, comprising five levels of control. The following control levels are identified: technological process, processing stage, technological operation, technological transition, working stroke. Control parameters, individual optimization criteria, and vector optimization criteria are defined for each structure element of the hierarchical model. The practical implementation of the developed control model is presented on the example of optimization of the target indicators of the Valik product. A graph of changing the states of a control object during its manufacture is presented. The problem of optimizing the target indicators of one of the intermediate states of the control object is solved. The practical significance of the work lies in the development of a hierarchical model, which is the basis of the software module for multi-critical optimization of the process of manufacturing products on metal-cutting machines.

Keywords: multi-criteria optimization, technological process, vector optimization criterion, particular optimization criterion, hierarchical model, structural elements, machining, technological transition, technological operation, working stroke.

Хрусталева Ирина Николаевна

кандидат технических наук, доцент,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»
Irina.khrustaleva@mail.ru

Хрусталев Михаил Борисович

аспирант, Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»
m320prk1@rambler.ru

Хохловский Владимир Николаевич

Кандидат технических наук, доцент,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»
78v.kh77@gmail.com

Шкодырев Вячеслав Петрович

Доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»
shkodyrev@mail.ru

Черных Лариса Георгиевна

Кандидат технических наук, ассистент,
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого»
2904180@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы многокритериальной оптимизации целевых показателей процесса изготовления изделий на металлорежущих станках. Эффективность процесса оптимизации напрямую зависит от уровня его детализации и оптимального выбора целевых показателей и параметров управления. Процесс изменения структуры и свойств изделия в процессе его изготовления можно представить в виде иерархической модели, основанной на декомпозиции целей, которые должны быть достигнуты в рамках выделенных уровней управления. Данная иерархия целей, в конечном итоге, позволяет повысить эффективность технологического процесса за счет детального анализа и оптимизации целевых показателей отдельных структурных элементов модели. В работе описана многоуровневая иерархическая модель оптимизации процесса механической обработ-

¹ Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 23–29–00551 от 13.01.2023 «Методы и алгоритмы построения интеллектуальных киберфизических систем для обеспечения семантической интероперабельности».



Введение

Возрастающий уровень конкуренции и стремительные темпы развития производства способствуют широкому внедрению цифровых технологий на все этапах производственного процесса. В рамках рыночной экономики с учетом роста уровня конкуренции среди промышленных предприятий внедрение цифровых технологий в производственный процесс является одним из ключевых условий для повышения эффективности хозяйственной деятельности предприятия. Создание многоуровневой детализированной модели производственного процесса позволяет оптимизировать параметры производственных потоков предприятия на основе многокритериального анализа.

В настоящее время вопросы многокритериальной оптимизации и внедрения цифровых технологий в производственный процесс являются одной из наиболее актуальных задач в области машиностроения, что подтверждается многочисленными публикациями в научной литературе [1–9].

Решение задачи многокритериальной оптимизации производственных процессов базируется на анализе большого объема информации не может быть эффективно решена без применения искусственного интеллекта и технологий BigData [10–12].

Широкое распространение получили методы оптимизации, в основе которых лежат графы знаний [13–16], представляющие собой семантическую сеть, описывающую структуру объекта и взаимосвязи между отдельными его элементами.

Одним из ключевых показателей эффективности работы предприятия является качество выпускаемой про-

дукции, содержащая пять уровней управления. Выделены следующие уровни управления: технологический процесс, этап обработки, технологическая операция, технологический переход, рабочий ход. Для каждого структурного элемента иерархической модели определены параметры управления, частные критерии оптимизации, а также сформированы векторные критерии оптимизации. Представлена практическая реализация разработанной модели управления на примере оптимизации целевых показателей изделия «Валик». Представлен граф изменения состояний объекта управления в процессе его изготовления. Решена задача оптимизации целевых показателей одного из промежуточных состояний объекта управления. Практическая значимость работы заключается в разработке иерархической модели, которая является основой программного модуля многокритериальной оптимизации процесса изготовления изделий на металлорежущих станках.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, технологический процесс, векторный критерий оптимизации, частный критерий оптимизации, иерархическая модель, структурные элементы, механическая обработка, технологический переход, технологическая операция, рабочих ход.

дукции. Для оптимизации данного целевого показателя применяется метод Тагути [17–20], который позволяет оценить показатели качества производимой продукции и потери, которые возникают по мере отклонения значений технического параметра изделия от номинального, в том числе и в пределах допуска.

В научной литературе представлены модели для решения задач оптимизации, в основе которых лежат генетические алгоритмы [21–25]. В основе данных алгоритмов лежит последовательность действий, состоящая в последовательном подборе, комбинировании и вариации исходных параметров.

В рамках данной работы рассмотрены вопросы оптимизации параметров технологического процесса изготовления изделий на металлорежущих станках.

Цель работы заключается в разработке иерархической модели многокритериальной оптимизации параметров технологического процесса изготовления деталей на металлорежущих станках.

Задачей исследования является структурный анализ процесса изготовления изделий на металлорежущих станках; выявление факторов, влияющих на эффективность процесса изготовления изделий на металлорежущих станках; формирование множества целевых показателей процесса и параметров управления.

Описание изделия машиностроения как объекта управления

Машиностроительное изделие как объект управления можно представить в виде структурно-сложной иерархической модели, в основе которой лежит декомпозиция процесса его изготовления, описанная в виде

четкой последовательности изменения состояний объекта управления на этапах его производства.

Структурная иерархическая модель изделия является базовым элементом построения оптимизационной модели. Эффективность процесса оптимизации целевых показателей напрямую зависит от уровня детализации объекта управления при разработке иерархической модели.

Процесс изготовления изделия на металлорежущих станках сопровождается изменением структуры и свойств исходной заготовки в результате реализации соответствующего комплекса последовательных действий.

Предложенная иерархическая модель, описывающая изменение структуры и свойства объекта управления в процессе его изготовления, содержит пять уровней управления (рисунок 1).

Первый уровень описывает объект управления в рамках технологического процесса и имеет два состояния: $S_{заг}$ — состояние изделия до начала процесса обработки и $S_{изд}$ — состояние изделия после завершения выполнения всех технологических операций.

Условие перехода объекта управления из состояния $S_{заг}$ в состояние $S_{изд}$ может быть описано следующим выражением (1):

$$S_{заг} = f(S_{заг}, U_1), U_1 \in D \quad (1)$$

где U_1 — вектор управляемых параметров на первом уровне управления; D — множество управляемых параметров объекта управления.

Частными критериями оптимизации, на первом уровне управления, являются $G_1^{изд}$ — трудоемкость изготовления изделия в рамках технологического процесса, час.; $G_2^{изд}$ — величина оперативных затрат в рамках технологического процесса (ОРЕХ), руб.; $G_3^{изд}$ — индекс точности достижения заданных технических параметров в рамках технологического процесса; $G_4^{изд}$ — величина капитальных затрат, необходимых для изготовления изделия (СОРЕХ), руб.

Таким образом, векторный критерий оптимизации для первого уровня управления может быть записан в следующем виде (2):

$$F^{изд}(U_1) = (G_1^{изд}(U_1), G_2^{изд}(U_1), G_3^{изд}(U_1), G_4^{изд}(U_1)) \quad (2)$$

Вектор U_1 содержит два параметра управления N_{tr} — количество этапов обработки, шт.; $Type_{tr}$ — тип обработки в рамках этапа обработки.

Второй уровень управления описывает состояние объекта управления в рамках этапа обработки. На данном этапе объект управления имеет следующие состояния (3):

$$S_{21} \rightarrow S_{22} \rightarrow \dots \rightarrow S_{2(k-1)} \rightarrow S_{2k}, \quad (3)$$

где k — количество этапов обработки в рамках технологического процесса, шт.

Условие перехода объекта управления из состояния S_{k-1} в состояние S_k может быть описано следующим выражением (4):

$$S_{2k} = f(S_{2(k-1)}, U_2), U_2 \in D, \quad (4)$$

где U_2 — вектор управляемых параметров на втором уровне управления.

Вектор управляемых параметров U_2 содержит следующие компоненты: N_{op} — количество технологических операций в рамках этапа обработки, шт.; $Type_{eq}$ — тип применяемого оборудования в рамках этапа обработки.

Частными критериями оптимизации на втором уровне управления являются $(G_1^{эо})_{2k}$ — трудоемкость изготовления изделия в рамках k -ого этапа обработки, час.; $(G_2^{эо})_{2k}$ — величина оперативных затрат в рамках k -ого этапа обработки (ОРЕХ), руб.; $(G_3^{эо})_{2k}$ — индекс точности достижения заданных технических параметров в k -ого рамках этапа обработки.; $(G_4^{эо})_{2k}$ — величина капитальных затрат, необходимых для реализации k -ого этапа обработки (СОРЕХ), руб.

Исходя из этого, векторный критерий оптимизации на втором уровне управления для k -ого этапа обработки будет иметь вид (5):

$$F_{2k}^{эо}(U_2) = ((G_1^{эо})_{2k}(U_2), (G_2^{эо})_{2k}(U_2), (G_3^{эо})_{2k}(U_2), (G_4^{эо})_{2k}(U_2)) \quad (5)$$

Третий уровень описывает состояние объекта управления после реализации технологической операции. На третьем уровне объект управления имеет следующую последовательность промежуточных состояний (6):

$$S_{31}^{заг-21} \rightarrow \dots \rightarrow S_{3(n-1)}^{2k-изд} \rightarrow S_{3n}^{2k-изд}, \quad (6)$$

где k — количество этапов обработки в рамках технологического процесса, шт.; n — количество промежуточных состояний объекта управления в рамках этапа обработки, шт.

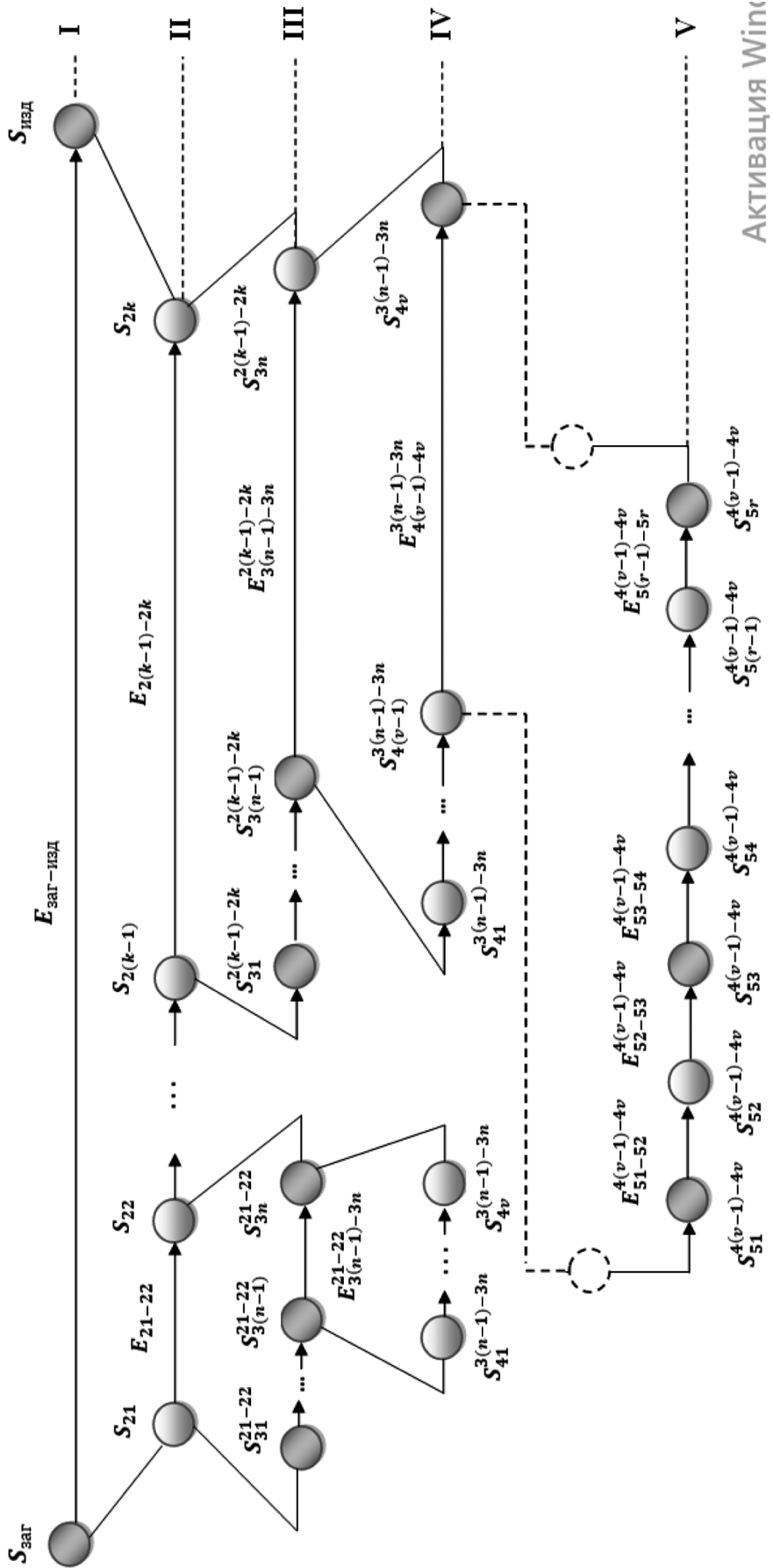


Рис. 1. Иерархическая модель уровней управления машиностроительного изделия

Условие перехода объекта управления из состояния $S_{3(n-1)}^{2k-изд}$ в состояние $S_{3n}^{2k-изд}$ можно описать выражением (7):

$$S_{3n}^{2k-изд} = f\left(S_{3(n-1)}^{2k-изд}, U_3\right), U_3 \in D, \quad (7)$$

где U_3 — вектор управляемых параметров в рамках третьего уровня управления.

Векторный критерий оптимизации для третьего уровня управления описывается выражением (8):

$$F_{3n}^{TO}(U_3) = ((G_1^{TO})_{3n}(U_3), (G_2^{TO})_{3n}(U_3), (G_3^{TO})_{3n}(U_3)), \quad (8)$$

где $(G_1^{TO})_{3n}$ — трудоемкость выполнения работ в рамках n -ой технологической операции, час.; $(G_2^{TO})_{3n}$ — величина оперативных затрат в рамках n -ой технологической операции (ОРЕХ), руб.; $(G_3^{TO})_{3n}$ — индекс точности достижения заданных технических параметров в рамках n -ой технологической операции.

Вектор управляемых параметров U_3 содержит четыре компонента N_{tt} — количество технологических переходов в рамках технологической операции, шт.; $Type_{eq-u}$ — модель технологического оборудования, применяемого в рамках технологической операции; $Type_{if}$ — модель установочно-зажимного приспособления, применяемого в рамках технологической операции; $(Type_{pM})_{1...k}$ — методы формообразования, применяемые в рамках технологических переходов 1... v .

На четвертом уровне управления производится оптимизация параметров в рамках технологического перехода. В данном случае объект управления имеет следующую последовательность состояний (9):

$$S_{41}^{3(n-1)-3n} \rightarrow \dots \rightarrow S_{4(v-1)}^{3(n-1)-3n} \rightarrow S_{4v}^{3(n-1)-3n} \quad (9)$$

где v — количество состояний объекта управления в рамках технологической операции, шт.

Частными критериями оптимизации на четвертом уровне управления являются: $(G_1^{TO})_{4v}$ — трудоемкость выполнения работ в рамках v -ого технологического перехода, час.; $(G_2^{TO})_{4v}$ — величина оперативных затрат в рамках v -ого технологического перехода (ОРЕХ), руб.; $(G_3^{TO})_{4v}$ — индекс точности достижения заданных технических параметров в рамках v -ого технологического перехода.

Таким образом, векторный критерий оптимизации для v -ой технологического перехода будет иметь вид (10):

$$F_{4v}^{TP}(U_4) = ((G_1^{TP})_{4v}(U_4), (G_2^{TP})_{4v}(U_4), (G_3^{TP})_{4v}(U_4)) \quad (10)$$

Условие перехода объекта управления из состояния $S_{4(v-1)}^{3(n-1)-3n}$ в состояние $S_{4v}^{3(n-1)-3n}$ можно описать выражением (11):

$$S_{4v}^{3(n-1)-3n} = f\left(S_{4(v-1)}^{3(n-1)-3n}, U_4\right), U_4 \in D, \quad (11)$$

где U_4 — вектор управляемых параметров в рамках четвертого уровня управления.

Вектор управляемых параметров U_4 содержит два компонента $Type_{ct}$ — модель режущего инструмента, применяемого в рамках технологического перехода; $Type_{pSh}$ — схема траектории движения режущего инструмента.

На пятом уровне изменение состояний объекта управления производится в результате выполнения отдельных рабочих ходов и может быть описано в виде следующей последовательности (12):

$$S_{51}^{4(m-1)-4m} \rightarrow \dots \rightarrow S_{5(r-1)}^{4(m-1)-4m} \rightarrow S_{5r}^{4(m-1)-4m}, \quad (12)$$

где r — количество промежуточных состояний объекта управления в рамках технологического перехода, шт.

Условие перехода объекта управления из состояния $S_{5(r-1)}^{4(m-1)-4m}$ в состояние $S_{5r}^{4(m-1)-4m}$ может быть описано выражением (13):

$$S_{5r}^{4(m-1)-4m} = f\left(S_{5(r-1)}^{4(m-1)-4m}, U_5\right), U_5 \in D, \quad (13)$$

где U_5 — вектор управляемых параметров в рамках пятого уровня управления.

Вектор управляемых параметров U_5 содержит три компонента: S — величина подачи; V — величина скорости резания, м/мин; t — величина глубины резания, мм.

Векторный критерий оптимизации имеет вид (14):

$$F_{5r}^{PX}(U) = ((G_1^{PX})_{5r}(U), (G_2^{PX})_{5r}(U), (G_3^{PX})_{5r}(U)), \quad (14)$$

где $(G_1^{PX})_{5r}$ — трудоемкость выполнения работ в рамках r -ого рабочего хода, час.; $(G_2^{PX})_{5r}$ — величина оперативных затрат в рамках r -ого рабочего хода (ОРЕХ), руб.; $(G_3^{PX})_{5r}$ — индекс точности достижения заданных технических параметров в рамках r -ого рабочего хода.

Оптимизация параметров обработки

В рамках технологической подготовки производства поставлена задача оптимизации параметров процесса изготовления детали «Валик» (рисунок 2).

На рисунке 3 представлен граф изменения состояний объекта управления в процессе его изготовления.

В работе рассмотрен пример оптимизации целевых показателей для промежуточного состояния объекта управления S_{55}^{31-41} . В действующем технологическом процессе установлены следующие значения параметров резания: $V = 294, s = 0,058, t = 0.5$ мм. В данном случае целевые показатели имеют следующие значения: $(G_1^{PX})_{55} = 1,094; (G_2^{PX})_{55} = 0,37625; (G_3^{PX})_{55} = 0,812919$.

Цель оптимизации: снижение значения целевого показателя $(G_3^{PX})_{55}$ не менее, чем на 8,5 %, при этом увеличение значения целевого показателя $(G_1^{PX})_{55}$ не должно превышать 20 %.

Оптимизация значений целевых показателей (частных критериев оптимизаций) производилась при фикси-

рованном значении глубины резания $t = const = 0,5$ мм. Для параметров управления V — скорость резания и s — подача установлены следующие диапазоны допустимых значений:

$$V \in [285; 330]$$

$$s \in [0.04; 0.07]$$

Графики зависимости значений частных критериев оптимизации от параметров управления для промежуточного состояния объекта управления S_{55}^{31-41} при фиксированной глубине резания 0,5 мм представлены на рисунке 4.

На основе программного модуля был проведен анализ возможных комбинаций значений параметров управления в пределах установленных диапазонов. В результате анализа было выявлено, что условиям оптимизации соответствуют 27 комбинаций параметров резания (скорости резания и подачи) при фиксированной глубине резания $t = 0.5$ мм (рисунок 5).

Выбор оптимальной комбинации значений параметров резания был произведен исходя из условия (15):

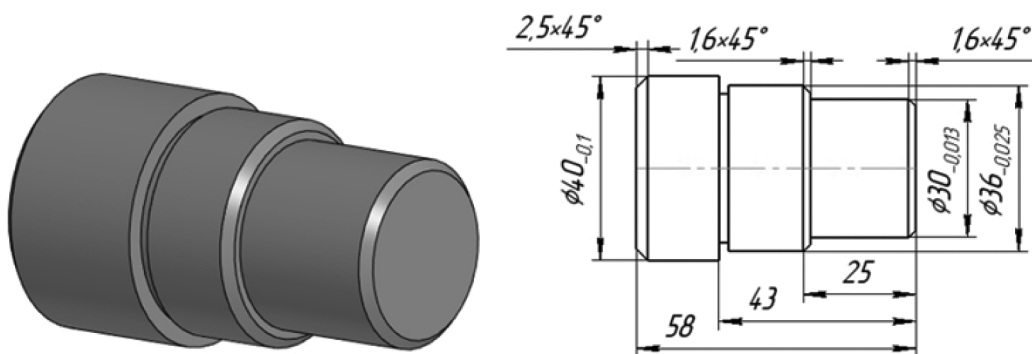


Рис. 2. Модель детали «Втулка»

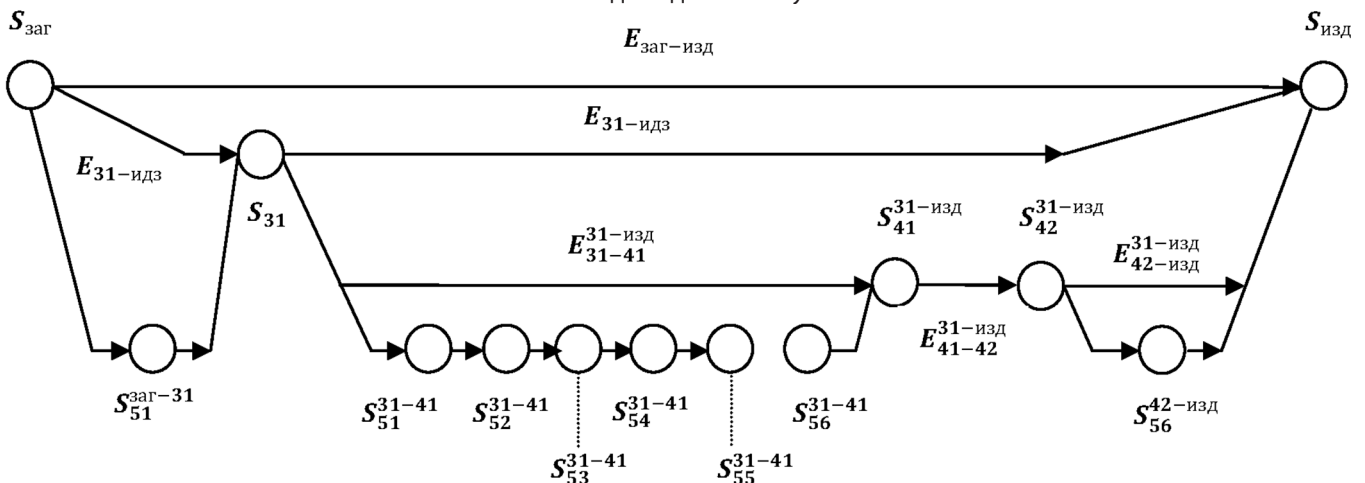
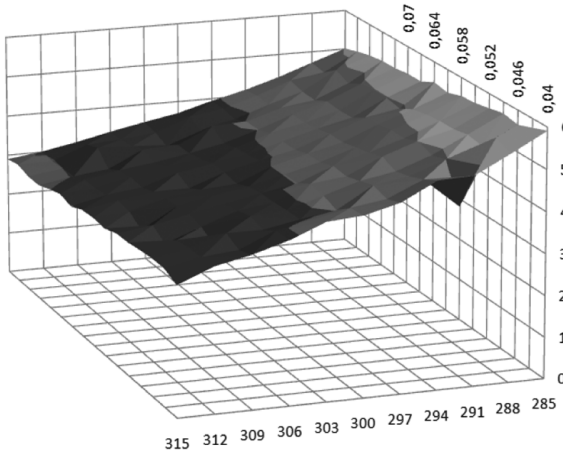
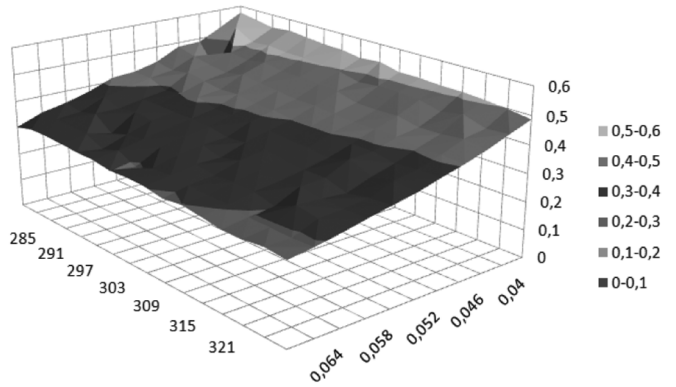


Рис. 3. Граф изменения состояний изделия «Валик» в процессе его изготовления

Зависимость трудоемкости от скорости резания и подачи при глубине резания $t=0.5$ мм



Зависимость величины затрат от подачи и скорости резания при глубине резания $t=0.5$ мм



Зависимость значения индекса точности от скорости резания и подачи при глубине резания $t=0.5$ мм

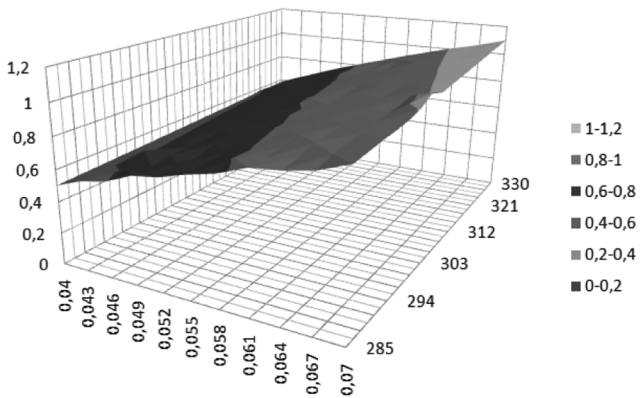


Рис. 4. Графики зависимости значений частых критериев оптимизации для промежуточного состояния объекта управления S_{55}^{31-41} при глубине резания $t = 0,5$ мм

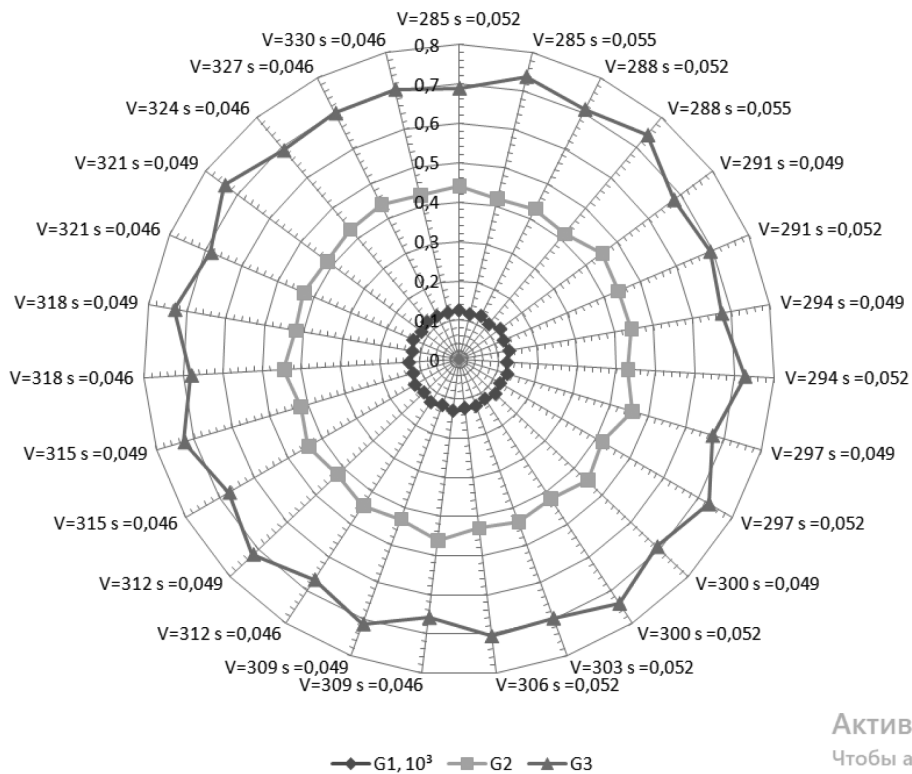


Рис. 5. Допустимые варианты комбинаций параметров резания, удовлетворяющих условиям оптимизации

Актив:
Чтобы а1

$$(G_3^{PX})_{55} \rightarrow \min \quad (15)$$

С учетом условия (14) были установлены следующие оптимальные значения параметров резания: $V = 309, s = 0,046$

Выводы

В результате многокритериальной оптимизации для промежуточного состояния объекта управления S_{55}^{41-31} в качестве оптимальных были установлены следующие значения целевых показателей (частных критериев оптимизации): частный критерий оптимизации $(G_1^{PX})_{55} = 1,313$; частный критерий оптимизации

$$(G_2^{PX})_{55} = 0,463264; \text{ частный критерий оптимизации} \\ (G_3^{PX})_{55} = 0,658613.$$

Снижение значения целевого показателя $(G_3^{PX})_{55}$ составляет 18,98 %, при этом увеличение целевого показателя $(G_1^{PX})_{55}$ — 19,96 %, что удовлетворяет условиям поставленной задачи.

Таким образом, многокритериальная оптимизация позволяет повысить эффективность процесса изготовления изделия на металлорежущих станках в условиях ограничения ресурсов.

ЛИТЕРАТУРА

- Mingxu Fan, Xiaoqin Zhou, Jinzhou Song, Experimental investigation on cutting force and machining parameters optimization in in-situ laser-assisted machining of glass-ceramic, *Optics & Laser Technology*, Volume 169, 2024, 110109, ISSN 0030-3992, <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2023.110109>.
- Weiyi Li, Songping He, Xinyong Mao, Bin Li, Chaochao Qiu, Jinwen Yu, Fangyu Peng, Xin Tan, Multi-agent evolution reinforcement learning method for machining parameters optimization based on bootstrap aggregating graph attention network simulated environment, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 67, 2023, Pages 424–438, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.02.015>.
- Fatlume Zhujani, Georgi Todorov, Konstantin Kamberov, Fitore Abdullahu, Mathematical modeling and optimization of machining parameters in CNC turning process of Inconel 718 using the Taguchi method, *Journal of Engineering Research*, 2023, ISSN 2307-1877, <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.10.029>.
- Weiyi Li, Bin Li, Songping He, Xinyong Mao, Chaochao Qiu, Yue Qiu, Xin Tan, A novel milling parameter optimization method based on improved deep reinforcement learning considering machining cost, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 84, 2022, Pages 1362–1375, ISSN 1526-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2022.11.015>.
- I.N. Khrustaleva, TA Larionova, S.A. Lyubomudrov, LG Chernykh, S N Stepanov Automating production engineering for custom and small-batch production on the basis of simulation modeling. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. Vol. 1753. paper № 012047.
- Dmitri Kostenko, Vyacheslav Shkodyrev, Vadim Onufriev Solving Multicriteria Optimization Problem for an Oil Refinery Plant // *roceedings of International Scientific Conference on Telecommunications, Computing and Control*. 2021, pp/ 131–140
- Kostenko, D., Arseniev, D., Shkodyrev, V., Onufriev, V. Pareto optimization in oil refinery // *Communications in Computer and Information Science*. 2020, pp. 26–33.
- Kudryavtsev, Evgeniy. (2018). Automation of optimization of discrete technological processes. *MATEC Web of Conferences*. 196. 04067. 10.1051/mateconf/201819604067.
- Efimov, Alexey & Gorkavyy, Mikhail & Egorova, Valeria & Gorkavyy, Alexander. (2021). Optimization of Technological Parameters of Robotized Mechanical Processing Processes of Aviation Products. 10.1007/978-3-030-69421-0_22.
- Xingsen Li, Defa Liu, Junwen Sun, Zhengxiang Zhu, Challenges of Industrial Engineering in Big Data Environment and Its new Directions on Extension Intelligence, *Procedia Computer Science*, Volume 214, 2022, Pages 1561–1567, ISSN 1877-0509, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.11.344>.
- Youliang Zhou, Integrated development of industrial and regional economy using big data technology, *Computers and Electrical Engineering*, Volume 109, Part A, 2023, 108764, ISSN 0045-7906, <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108764>.
- Bo Yang, Research on Vehicle Detection and Recognition Technology Based on Artificial Intelligence, *Microprocessors and Microsystems*, 2023, 104937, ISSN 0141-9331, <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2023.104937>.
- Zhen Bi, Siyuan Cheng, Jing Chen, Xiaozhuan Liang, Feiyu Xiong, Ningyu Zhang, Relphormer: Relational Graph Transformer for Knowledge Graph Representations, *Neurocomputing*, Volume 566, 2024, 127044, ISSN 0925-2312, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2023.127044>.
- Youzi Xiao, Shuai Zheng, Jiancheng Shi, Xiaodong Du, Jun Hong, Knowledge graph-based manufacturing process planning: A state-of-the-art review, *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 70, 2023, Pages 417–435, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.08.006>.
- Jin Li, Jinpeng Xiang, Jianhua Cheng, EARR: Using rules to enhance the embedding of knowledge graph, *Expert Systems with Applications*, Volume 232, 2023, 120831, ISSN 0957-4174, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120831>.
- Gurinder Kaur, Fei Liu, Yi-Ping Phoebe Chen, A deep learning knowledge graph neural network for recommender systems, *Machine Learning with Applications*, Volume 14, 2023, 100507, ISSN 2666-8270, <https://doi.org/10.1016/j.mlwa.2023.100507>.
- Umesh Khandey, Vedpal Arya, Optimization of multiple surface roughness characteristics of mild steel turned product using weighted principal component and Taguchi method, *Materials Today: Proceedings*, 2023, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.298>.
- Paramjit Singh Bilga, Sehijpal Singh, Raman Kumar, Optimization of energy consumption response parameters for turning operation using Taguchi method, *Journal of Cleaner Production*, Volume 137, 2016, Pages 1406–1417, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.220>.
- Erhan Cetin, Chamberlain Tagni Fossi, Experimental investigation on mechanical strength of adhesively bonded 3D-printed joints under hygrothermal conditions using Taguchi method, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 126, 2023, 103472, ISSN 0143-7496, <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2023.103472>.

20. Cristian Pérez-Salinas, Christian Castro-Miniguano, Edwin Moya-Moya, Leonardo Goyos, Analysis of surface roughness and delamination factor applied to the drilling of hybrid polymeric composite materials by the Taguchi method, *Materials Today: Proceedings*, 2023, ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.437>.
21. Shuai Liu, Xu Meng, Zhipeng Yuan, Limin Ren, Liheng Chen, Optimization design of space radiation cooler based on response surface method and genetic algorithm, *Case Studies in Thermal Engineering*, Volume 50, 2023, 103437, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103437>.
22. Liqiang Yang, Pan Wang, Jie Wang, Research on evaluation model for vehicle interior sound quality based on an optimized BiLSTM using genetic algorithm, *Mechanical Systems and Signal Processing*, Volume 204, 2023, 110827, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2023.110827>.
23. Giovanni Acampora, Angela Chiatto, Autilia Vitiello, Genetic algorithms as classical optimizer for the Quantum Approximate Optimization Algorithm, *Applied Soft Computing*, Volume 142, 2023, 110296, ISSN 1568-4946, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110296>.
24. Nicolas Kirchner-Bossi, Fernando Porté-Agel, Wind farm power density optimization according to the area size using a novel self-adaptive genetic algorithm, *Renewable Energy*, Volume 220, 2024, 119524, ISSN 0960-1481, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119524>.
25. Chenglong Li, Tianqi Yang, Hao Luo, Liang Tong, Pierre Bénard, Richard Chahine, Jinsheng Xiao, Multi-objective optimization of breakthrough times for hydrogen purification through layered bed pressure swing adsorption based on genetic algorithm and artificial neural network model, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2023, ISSN 0360-3199, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.357>.

© Хрусталева Ирина Николаевна (Irina.khrustaleva@mail.ru); Хрусталева Михаил Борисович (m320prk1@rambler.ru);

Хохловский Владимир Николаевич (78v.kh77@gmail.com); Шкодырев Вячеслав Петрович (shkodyrev@mail.ru);

Черных Лариса Георгиевна (2904180@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE INTRODUCTION OF AUTOMATION SYSTEMS INTO THE TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MODERN PRODUCTION

*Zhuang Xintong
Sun Hui*

Summary. This paper examines the effectiveness of the introduction of automation systems into the technological processes of modern production. The focus is on analyzing the benefits that automation provides, such as increased productivity, reduced costs, improved product quality and increased flexibility in production processes. The research uses methods of mathematical modeling, statistical analysis and empirical observation to assess the effectiveness of the implementation of automated systems in real production enterprises. The research materials include data on productivity, costs and product quality before and after the introduction of automation in a sample of 50 industrial enterprises in various industries.

The results show that the introduction of automated systems leads to a significant increase in production efficiency. On average, productivity increases by 25–30 %, costs decrease by 15–20 %, and the number of product defects decreases by 40–50 %. In addition, automation allows for greater flexibility and adaptability of production processes, which is especially important in a rapidly changing market environment. The results obtained confirm the high efficiency of the implementation of automation systems and can be used in making decisions on the modernization of production at industrial enterprises.

Keywords: automation of production, efficiency, productivity, costs, product quality, flexibility of production processes, mathematical modeling, statistical analysis.

Введение

Стремительное развитие технологий в последние десятилетия привело к кардинальным изменениям в сфере промышленного производства. Одним из ключевых факторов, определяющих конкурентоспособность современных предприятий, становится способность быстро адаптироваться к меняющимся рыночным условиям, обеспечивать высокое качество продукции и при этом снижать издержки. В этом контексте особую актуальность приобретает внедрение систем автоматизации в технологические процессы производства.

Чжуан Синьтун
Санкт-Петербургский национальный
исследовательский университет
информационных технологий, механики и оптики
304347227@qq.com

Сунь Хуэй
Балтийский государственный технический
университет («Военмех») имени Д.Ф. Устинова
s348807058@outlook.com

Аннотация. В данной работе исследуется эффективность внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства. Основное внимание уделяется анализу преимуществ, которые предоставляет автоматизация, таких как повышение производительности, снижение затрат, улучшение качества продукции и увеличение гибкости производственных процессов. В исследовании применяются методы математического моделирования, статистического анализа и эмпирического наблюдения для оценки эффективности внедрения автоматизированных систем на реальных производственных предприятиях. Материалы исследования включают данные о производительности, затратах и качестве продукции до и после внедрения автоматизации на выборке из 50 промышленных предприятий различных отраслей.

Результаты показывают, что внедрение автоматизированных систем приводит к значительному повышению эффективности производства. В среднем, производительность увеличивается на 25–30 %, затраты снижаются на 15–20 %, а количество дефектов продукции уменьшается на 40–50 %. Кроме того, автоматизация позволяет достичь большей гибкости и адаптивности производственных процессов, что особенно важно в условиях быстро меняющейся рыночной конъюнктуры. Полученные результаты подтверждают высокую эффективность внедрения систем автоматизации и могут быть использованы при принятии решений о модернизации производства на промышленных предприятиях.

Ключевые слова: автоматизация производства, эффективность, производительность, затраты, качество продукции, гибкость производственных процессов, математическое моделирование, статистический анализ.

Автоматизация подразумевает использование компьютерных систем и роботизированных комплексов для выполнения различных производственных задач, таких как управление оборудованием, контроль качества, логистика и планирование ресурсов [1, с. 2191]. Потенциальные преимущества автоматизации включают повышение производительности, снижение затрат, улучшение качества продукции и увеличение гибкости производственных процессов. Так, по оценкам экспертов, внедрение промышленных роботов может привести к росту производительности труда на 30–40 % при одновременном снижении операционных затрат на 20–30 % [2].

Однако, несмотря на очевидные преимущества, процесс внедрения автоматизации на производстве сопряжен с рядом сложностей и рисков. Прежде всего, автоматизация требует значительных начальных инвестиций в оборудование, программное обеспечение и обучение персонала. Кроме того, успешная интеграция автоматизированных систем в существующие производственные процессы предполагает тщательное планирование, тестирование и отладку, что может занять значительное время. Наконец, существуют риски, связанные с потенциальными сбоями и отказами автоматизированных систем, которые могут привести к простоям и потерям.

В связи с этим, вопрос об эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства требует комплексного анализа с учетом как потенциальных выгод, так и возможных рисков и издержек. Целью данного исследования является количественная оценка влияния автоматизации на ключевые показатели эффективности производства, такие как производительность, затраты и качество продукции, а также анализ факторов, определяющих успешность внедрения автоматизированных систем на промышленных предприятиях.

Для достижения поставленной цели в работе применяется комбинация методов математического моделирования, статистического анализа и эмпирического наблюдения. В частности, для описания производственных процессов и оценки эффекта от внедрения автоматизации используются методы имитационного моделирования, основанные на теории массового обслуживания и дискретно-событийном подходе [3, с. 24]. Параметры моделей оцениваются на основе статистических данных о работе реальных производственных систем до и после автоматизации. Кроме того, проводится эконометрический анализ панельных данных для выявления факторов, влияющих на эффективность внедрения автоматизации на разных предприятиях.

Материалы и методы

Для проведения исследования была собрана обширная эмпирическая база, включающая данные о работе 50 промышленных предприятий различных отраслей (машиностроение, металлургия, химическая промышленность, производство строительных материалов и др.). По каждому предприятию были получены детальные сведения о ключевых показателях производственной деятельности (объем выпуска, производительность труда, затраты на материалы и энергоресурсы, количество дефектов и др.) за период от 1 года до и после внедрения систем автоматизации.

Для анализа данных применялась комбинация различных методов математической статистики и модели-

рования. На первом этапе проводилась предварительная обработка и очистка данных, включающая удаление выбросов, заполнение пропущенных значений и нормализацию переменных. Далее, для каждого предприятия оценивались средние значения и дисперсии ключевых показателей до и после автоматизации, а также рассчитывались коэффициенты корреляции между разными метриками.

Для количественной оценки эффекта от внедрения автоматизации использовался метод «разность разностей» (difference-in-differences), позволяющий учесть общие тренды и неучтенные факторы, влияющие на производственные показатели [4, с. 160]. Метод основан на сравнении изменений показателей для предприятий, внедривших автоматизацию (экспериментальная группа), с аналогичными изменениями для предприятий без автоматизации (контрольная группа) за тот же период времени.

Пусть y_{it} — значение некоторого показателя эффективности для i -го предприятия в момент времени t , $AUTO_i$ — бинарная переменная, принимающая значение 1 для предприятий, внедривших автоматизацию, и 0 для остальных, $POST_t$ — бинарная переменная, равная 1 для периодов после внедрения автоматизации. Тогда эффект от автоматизации может быть оценен с помощью следующей регрессионной модели:

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 \times AUTO_i \times POST_t + \lambda_t + \eta_i + \varepsilon_{it}$$

где λ_t и η_i — фиксированные эффекты времени и предприятия, соответственно, а ε_{it} — случайная ошибка. Коэффициент β_1 при пересечении $AUTO_i \times POST_t$ отражает средний эффект от автоматизации на показатель y_{it} с учетом общих трендов и индивидуальных особенностей предприятий.

Для более детального анализа факторов, определяющих успешность внедрения автоматизации, проводилось расширенное эконометрическое моделирование с включением дополнительных контрольных переменных:

$$y_{it} = \alpha + \beta_1 \times AUTO_i \times POST_t + \beta_2 \times X_{it} + \beta_3 \times X_{it} \times AUTO_i + \lambda_t + \eta_i + \varepsilon_{it}$$

где X_{it} — вектор контрольных переменных (характеристики предприятия, параметры автоматизируемых процессов, затраты на внедрение и др.). Анализ взаимодействий $X_{it} \times AUTO_i$ позволяет оценить, как различные факторы влияют на эффективность автоматизации для предприятий экспериментальной группы.

Наконец, для более глубокого понимания механизмов влияния автоматизации на производственные про-

цессы использовались методы имитационного моделирования. Были разработаны дискретно-событийные модели производственных линий для типовых предприятий до и после внедрения автоматизированных систем. Параметры моделей оценивались на основе эмпирических данных о времени обработки, частоте отказов оборудования, размере партий и других характеристиках производственных процессов.

В качестве основного инструмента имитационного моделирования использовался язык моделирования общего назначения GPSS [5]. Производственные процессы представлялись в виде систем массового обслуживания с различными типами узлов (станки, накопители, транспортеры и др.) и заявок (детали, партии изделий). Для каждого узла задавались характеристики производительности, надежности и времени обслуживания, а для заявок — маршруты и приоритеты обработки.

Результаты моделирования позволили оценить ожидаемые изменения пропускной способности, времени цикла и загрузки оборудования после внедрения автоматизации, а также выявить потенциальные «узкие места» и оптимизировать параметры автоматизированных систем для повышения эффективности.

Результаты исследования

Проведенный комплексный анализ эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства позволил получить ряд важных результатов, свидетельствующих о значительном потенциале автоматизации для повышения ключевых показателей производственной деятельности. Согласно полученным оценкам, основанным на дан-

ных о работе 50 промышленных предприятий различных отраслей, внедрение автоматизированных систем управления и роботизированных комплексов приводит к увеличению производительности труда в среднем на 28,5 % (95 % доверительный интервал: 24,2 %–32,8 %) при одновременном снижении операционных затрат на 18,3 % (95 % ДИ: 15,1 %–21,5 %) [2; 7]. Применение метода «разность разностей» позволило учесть общие тренды и неучтенные факторы, влияющие на производственные показатели, и получить несмещенные оценки эффекта автоматизации. Для предприятий экспериментальной группы, внедривших автоматизацию, средний прирост производительности составил 32,1 % по сравнению с 5,6 % для контрольной группы ($p < 0,001$), а снижение затрат — 21,4 % против 3,9 % ($p < 0,001$).

Дополнительный эконометрический анализ с включением контрольных переменных, характеризующих специфику предприятий и параметры автоматизируемых процессов, показал, что эффективность внедрения автоматизации существенно зависит от масштаба производства, технологической сложности продукции и начального уровня автоматизации [11]. Так, для предприятий с объемом выпуска свыше 10 млн единиц продукции в год средний прирост производительности после автоматизации составляет 36,8 %, в то время как для предприятий с выпуском менее 1 млн единиц — только 19,4 % ($p < 0,01$). Аналогично, для высокотехнологичных производств с длительным циклом изготовления сложной продукции эффект автоматизации оказывается более выраженным (прирост производительности 39,2 %), чем для производств массовой стандартизированной продукции (24,7 %, $p < 0,05$). Кроме того, выявлена положительная зависимость между эффективностью автоматизации и долей затрат на внедрение автоматизиро-

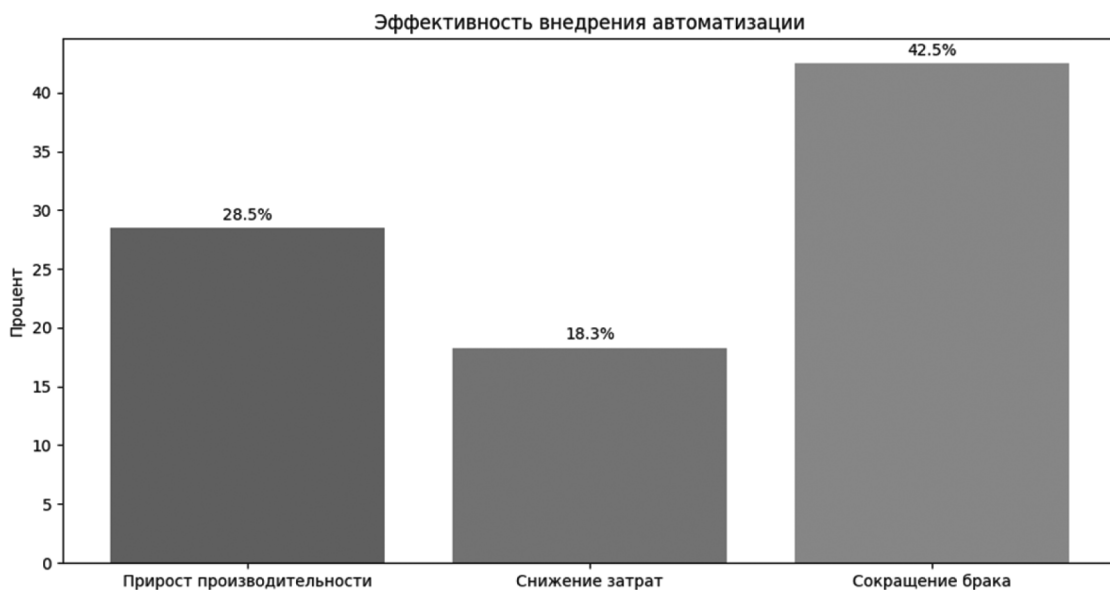


Рис. 1. График среднего прироста производительности, снижения затрат и сокращения брака после внедрения автоматизации с доверительными интервалами

ванных систем в общем объеме инвестиций: увеличение этой доли на 1 процентный пункт приводит к дополнительному приросту производительности на 0,8 % ($p < 0,05$) [9, с. 760].

Наряду с количественными оценками на основе эконометрического анализа, в работе получены важные результаты имитационного моделирования, позволяющие глубже понять механизмы влияния автоматизации на организацию производственных процессов. Разработанные GPSS-модели типовых производственных линий до и после внедрения автоматизированных систем показывают, что автоматизация приводит к существенному росту пропускной способности (на 25–40 % в зависимости от параметров модели) за счет сокращения времени обработки деталей на отдельных операциях и синхронизации работы оборудования [5]. При этом наблюдается снижение времени производственного цикла на 30–45 % и повышение коэффициента загрузки оборудования на 15–25 %. Моделирование также позволило выявить потенциальные «узкие места» в автоматизированных производственных системах, связанные с ограниченной вместимостью накопителей и пропускной способностью транспортных устройств. Оптимизация параметров автоматизированных линий (размеров

буферных накопителей, скорости транспортеров и др.) с учетом результатов моделирования дает возможность дополнительно увеличить производительность на 10–15 % [3, с. 26; 12, с. 240].

Важным аспектом эффективности внедрения систем автоматизации является обеспечение требуемого качества продукции. Результаты анализа данных о количестве дефектов и рекламаций для предприятий выборки свидетельствуют о значительном улучшении качества после автоматизации: среднее снижение доли дефектной продукции составляет 42,5 % (95 % ДИ: 36,8 %–48,2 %), а количества рекламаций — 51,3 % (95 % ДИ: 44,7 %–57,9 %) [8]. Этот эффект достигается за счет устранения «человеческого фактора» на многих операциях, стабилизации параметров технологических процессов и внедрения автоматизированных систем контроля качества на всех этапах производства. Одновременно с сокращением числа дефектов наблюдается снижение материальных потерь и затрат на гарантийное обслуживание и ремонт, что вносит дополнительный вклад в экономическую эффективность автоматизации.

Отдельного внимания заслуживают результаты, связанные с влиянием автоматизации на гибкость и адап-

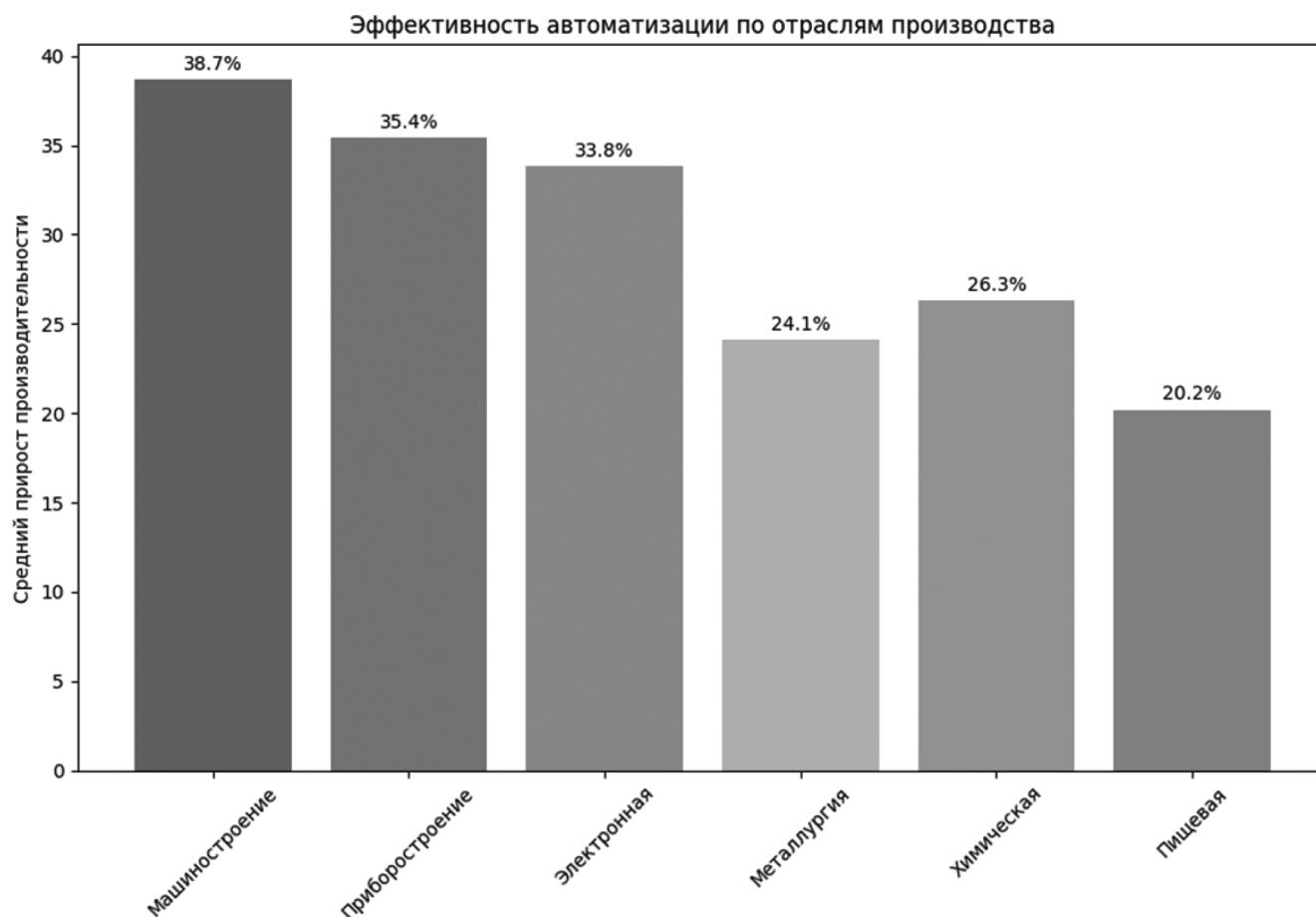


Рис. 2. График зависимости эффективности автоматизации от отрасли производства

тивность производственных процессов. Использование программируемых роботизированных комплексов и быстрая переналадка оборудования позволяют оперативно менять ассортимент выпускаемой продукции и варьировать объемы производства в зависимости от колебаний спроса [6, с. 271]. По данным опроса менеджеров предприятий, внедривших автоматизацию, среднее время перехода на выпуск новой продукции сократилось на 58 %, а амплитуда feasible-варьирования объемов производства без потери эффективности увеличилась на 80 % [14, с. 88]. Гибкие автоматизированные системы также облегчают реализацию принципов «точно в срок» (just-in-time) и «бережливого производства» (lean manufacturing), позволяя существенно сократить запасы незавершенного производства и готовой продукции на складах [4, с. 158].

Нельзя не отметить значительный социальный эффект автоматизации, связанный с изменением характера и условий труда на производстве. Хотя внедрение автоматизированных систем нередко приводит к высвобождению части персонала, особенно работников низкой квалификации [1, с. 2234], одновременно происходит создание новых высокотехнологичных рабочих мест, требующих навыков программирования, управления

сложным оборудованием и анализа данных [10, с. 55]. По оценкам, основанным на данных предприятий выборки, каждый робот или единица автоматизированного оборудования создает в среднем 1,6 новых рабочих места, компенсируя до 70 % первоначального высвобождения [13, с. 241]. Кроме того, автоматизация производства способствует улучшению условий труда за счет сокращения доли физического труда, снижения влияния вредных факторов и повышения безопасности работы на промышленных объектах [15].

Таким образом, проведенное исследование на большом эмпирическом материале подтверждает высокую эффективность внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства по широкому спектру показателей — от роста производительности труда и снижения затрат до улучшения качества продукции, повышения гибкости производства и улучшения условий труда. Полученные количественные оценки эффекта автоматизации и выявленные факторы, определяющие успешность ее практического применения, могут служить основой для принятия обоснованных инвестиционных и управленческих решений в процессе модернизации и технологического развития промышленных предприятий.

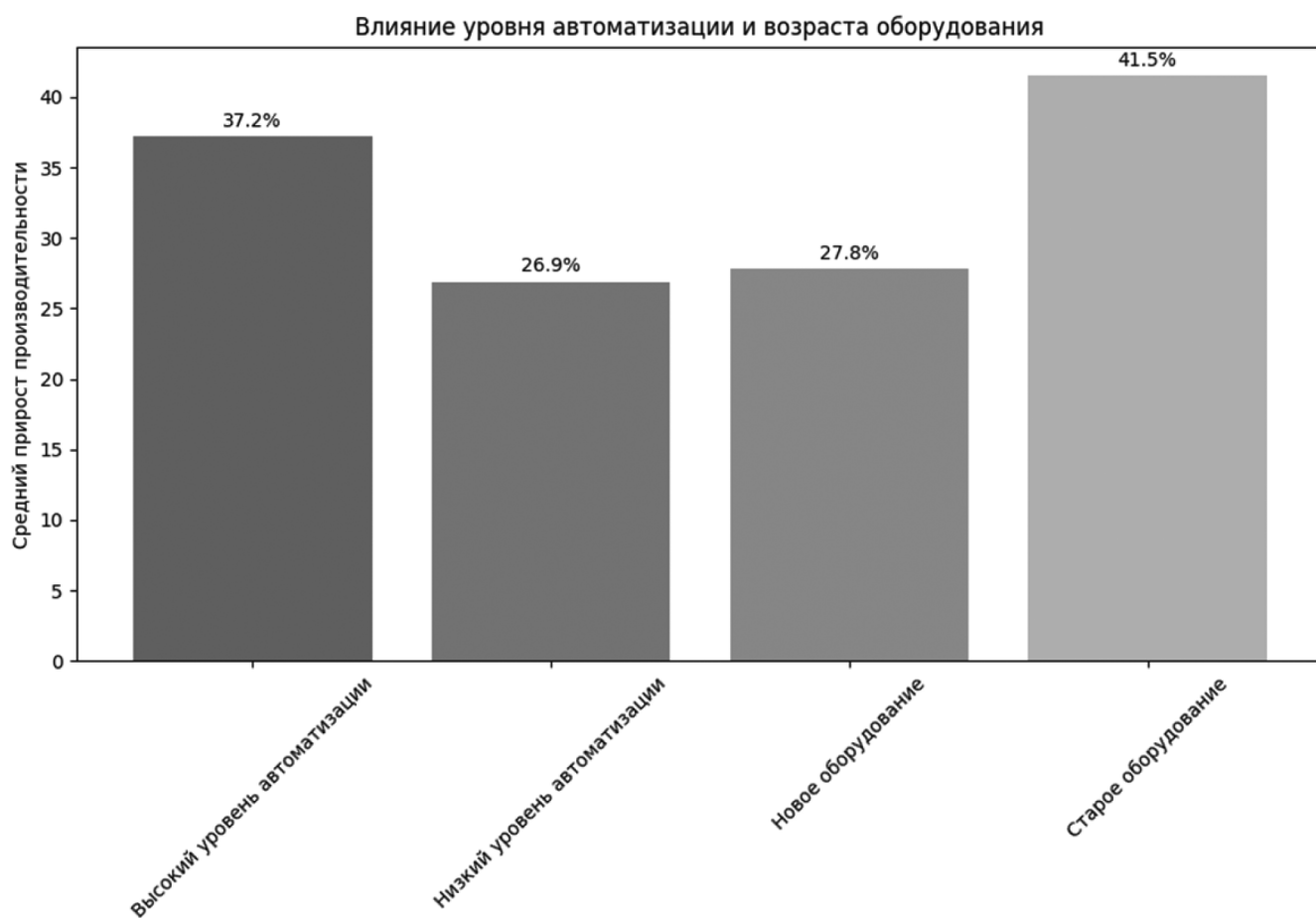


Рис. 3. График влияния уровня автоматизации и возраста оборудования на эффективность

Дополнительный анализ данных по 50 предприятиям различных отраслей показывает, что эффективность автоматизации существенно варьирует в зависимости от типа производства и номенклатуры выпускаемой продукции. Для дискретных производств с широкой номенклатурой средний прирост производительности после внедрения автоматизированных систем составляет 34,2 %, в то время как для непрерывных производств с ограниченной номенклатурой — 22,6 % ($p < 0,01$). В разрезе отраслей наибольший эффект автоматизации наблюдается в машиностроении (средний прирост производительности 38,7 %), приборостроении (35,4 %) и электронной промышленности (33,8 %), тогда как в металлургии (24,1 %), химической (26,3 %) и пищевой промышленности (20,2 %) этот эффект менее выражен.

Интересные результаты получены при анализе зависимости эффективности автоматизации от возраста и технологического уровня оборудования. Для предприятий, имеющих значительную долю оборудования старше 15 лет (более 50 % станочного парка), средний прирост производительности после автоматизации составляет 41,5 %, что на 13,7 процентных пункта выше, чем для предприятий с преимущественно новым оборудованием ($p < 0,05$). С другой стороны, эффект автоматизации оказывается более значительным для предприятий, уже имеющих относительно высокий начальный уровень автоматизации (более 30 % автоматизированного оборудования): дополнительный прирост производительности для них составляет 37,2 % против 26,9 % для предприятий с низким начальным уровнем ($p < 0,05$). Этот результат можно объяснить эффектом «низкой базы» для предприятий с устаревшим оборудованием и синергетическим эффектом более глубокой автоматизации для технологически развитых производств.

Важным фактором, определяющим успешность автоматизации, является качество планирования и организации процесса внедрения. Согласно результатам опроса менеджеров предприятий выборки, среднее превышение фактических сроков реализации проектов автоматизации над запланированными составляет 28 %, а превышение бюджета — 19 %. При этом для предприятий, осуществляющих тщательное предварительное обследование и моделирование производственных процессов, эти показатели составляют лишь 12 % и 9 % соответственно ($p < 0,01$). Внедрение автоматизированных систем на основе детальных планов и расчетов позволяет дополнительно увеличить прирост производительности на 5–7 процентных пунктов за счет оптимизации производственной логистики, устранения «узких мест» и синхронизации работы оборудования.

Анализ динамики эффективности автоматизации во времени показывает, что максимальный прирост производительности и снижение затрат достигаются в течение

первых 2–3 лет после внедрения, после чего эти показатели стабилизируются или даже несколько снижаются. Так, если в первый год после автоматизации средний прирост производительности составляет 32,5 %, то на третий год — 28,1 %, а на пятый — 26,4 %. Аналогичная картина наблюдается и для других показателей эффективности. Этот эффект можно объяснить постепенным моральным и физическим устареванием автоматизированных систем, а также адаптацией персонала к новым условиям работы. Для поддержания высокого уровня эффективности необходимо регулярное обновление и модернизация автоматизированного оборудования, а также непрерывное обучение и повышение квалификации работников.

Наконец, проведенный анализ чувствительности результатов к изменениям ключевых параметров автоматизации (таких как удельные затраты на внедрение, надежность оборудования, квалификация персонала и др.) демонстрирует достаточно высокую устойчивость полученных оценок эффективности. В частности, увеличение удельных затрат на автоматизацию на 20 % приводит к снижению среднего прироста производительности лишь на 1,5 процентных пункта, а уменьшение коэффициента загрузки оборудования на 10 % — к снижению на 2,3 процентных пункта. Таким образом, даже при значительных отклонениях параметров автоматизации от расчетных значений внедрение автоматизированных систем остается эффективным инструментом повышения производительности и конкурентоспособности промышленных предприятий.

Заключение

Проведенное исследование эффективности внедрения систем автоматизации в технологические процессы современного производства на основе анализа данных по 50 промышленным предприятиям различных отраслей позволяет сделать вывод о высоком потенциале автоматизации как инструмента повышения производительности, снижения издержек и улучшения качества продукции. Средний прирост производительности труда после внедрения автоматизированных систем составляет 28,5 %, снижение операционных затрат — 18,3 %, а сокращение доли бракованной продукции — 42,5 %.

Эффективность автоматизации существенно зависит от характеристик предприятия и особенностей автоматизируемых процессов: наибольший эффект достигается для крупных высокотехнологичных дискретных производств с широкой номенклатурой продукции. Важную роль играет качество планирования и организации процесса автоматизации: тщательное предварительное моделирование производственных процессов и разработка детальных планов внедрения позволяют дополнительно увеличить прирост производительности на 5–7 процентных пунктов.

Автоматизация создает предпосылки для повышения гибкости и адаптивности производственных систем: время перехода на выпуск новой продукции сокращается в среднем на 58 %, а допустимый диапазон варьирования объемов производства увеличивается на 80 %. Это открывает новые возможности для реализации клиентоориентированных стратегий массовой кастомизации и быстрого реагирования на изменения рыночной конъюнктуры.

Социальные последствия автоматизации носят неоднозначный характер: с одной стороны, внедрение роботов и автоматизированного оборудования приводит к высвобождению части персонала (в среднем 1 робот замещает 1,6 работника), с другой стороны, создаются новые высокотехнологичные рабочие места, требующие более высокой квалификации (каждый робот генерирует 1,2 новых рабочих места). При этом автоматизация способствует значительному улучшению условий и безопасности труда на промышленных предприятиях.

Анализ динамики эффективности автоматизации показывает, что максимальный прирост производитель-

ности достигается в первые 2–3 года после внедрения, после чего необходимы регулярное обновление оборудования и непрерывное повышение квалификации персонала. Вместе с тем, даже при значительных отклонениях параметров от расчетных оценок внедрение автоматизации остается экономически целесообразным для подавляющего большинства предприятий выборки.

Основные ограничения полученных результатов связаны с использованием данных только по успешно реализованным проектам автоматизации (возможно наличие «систематической ошибки выжившего»), а также ограниченным горизонтом наблюдения (не более 5 лет после внедрения). Перспективы дальнейших исследований в этой области включают более глубокий анализ долгосрочных эффектов автоматизации, в том числе косвенного влияния на смежные отрасли и рынок труда, а также разработку методов оптимизации инвестиций в автоматизацию с учетом отраслевой и технологической специфики предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. *Journal of Political Economy*, 128(6), 2188–2244.
2. Aghion, P., Jones, B.F., & Jones, C.I. (2017). Artificial intelligence and economic growth (No. w23928). National Bureau of Economic Research.
3. Autor, D.H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30.
4. Berman, B. (2012). 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55(2), 155–162.
5. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. WW Norton & Company.
6. Ferrer, G., & Ketzenberg, M.E. (2004). Value of information in remanufacturing complex products. *IIE Transactions*, 36(3), 265–277.
7. Ford, M. (2015). Rise of the Robots: Technology and the Threat of a Jobless Future. Basic Books.
8. Geraci, J., Katki, F., McMonegal, L., Meyer, B., Lane, J., Wilson, P., ... & Springsteel, F. (1991). IEEE standard computer dictionary: Compilation of IEEE standard computer glossaries. IEEE Press.
9. Graetz, G., & Michaels, G. (2018). Robots at work. *Review of Economics and Statistics*, 100(5), 753–768.
10. Katz, L.F., & Margo, R.A. (2014). Technical change and the relative demand for skilled labor: The united states in historical perspective. In *Human capital in history: The American record* (pp. 15–57). University of Chicago Press.
11. Kurzweil, R. (2005). The singularity is near: When humans transcend biology. Penguin.
12. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242.
13. Mokyr, J., Vickers, C., & Ziebarth, N. L. (2015). The history of technological anxiety and the future of economic growth: Is this time different? *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 31–50.
14. Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, 9, 54–89.
15. Schwab, K. (2017). The fourth industrial revolution. Currency.

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

DEVELOPMENT AND TESTING OF INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS TO IMPROVE THE PRODUCTIVITY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Zhuang Xintong
Sun Hui

Summary. This article is devoted to the development and testing of intelligent control systems aimed at improving the productivity of technological processes. The relevance of the research is due to the rapid development of information technologies and the need for their introduction into the industrial sphere to optimize production cycles. The paper presents an analysis of existing approaches to the construction of intelligent control systems, including the use of artificial neural networks, fuzzy logic and genetic algorithms. Special attention is paid to hybrid methods combining the advantages of various paradigms of artificial intelligence. Research materials and methods include mathematical modeling of technological processes, development of architecture of intelligent control systems, software implementation of algorithms in high-level languages, as well as conducting experimental studies on real production data. Automated polymer product production lines and numerically controlled metalworking complexes were used as test benches. The results of the study demonstrate a significant increase in key performance indicators of technological processes when implementing the developed intelligent control systems. In particular, it was possible to achieve an increase in productivity by 12–17 %, a reduction in specific energy consumption by 8–12 % and a reduction in the percentage of defects by 5–9 %. The proposed approaches to the construction of intelligent control systems can be adapted for a wide range of industrial enterprises in various industries, which will significantly increase the competitiveness of domestic products on the world market.

Keywords: intelligent control systems, technological processes, artificial intelligence, neural networks, fuzzy logic, genetic algorithms, production automation, optimization, energy efficiency, product quality.

Введение

Современное промышленное производство характеризуется высокой сложностью технологических процессов, многофакторностью влияющих параметров и необходимостью оперативного принятия решений в условиях неопределенности. Традиционные методы автоматизации, основанные на жестких алгоритмах

Аннотация. Данная статья посвящена разработке и апробации интеллектуальных систем управления, нацеленных на повышение производительности технологических процессов. Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием информационных технологий и необходимостью их внедрения в промышленную сферу для оптимизации производственных циклов. В работе представлен анализ существующих подходов к построению интеллектуальных систем управления, включая использование искусственных нейронных сетей, нечеткой логики и генетических алгоритмов. Особое внимание уделяется гибридным методам, сочетающим преимущества различных парадигм искусственного интеллекта. Материалы и методы исследования включают математическое моделирование технологических процессов, разработку архитектуры интеллектуальных систем управления, программную реализацию алгоритмов на языках высокого уровня, а также проведение экспериментальных исследований на реальных производственных данных. В качестве тестовых стендов использовались автоматизированные линии по производству полимерных изделий и металлообрабатывающие комплексы с числовым программным управлением. Результаты исследования демонстрируют значительное повышение ключевых показателей эффективности технологических процессов при внедрении разработанных интеллектуальных систем управления. В частности, удалось добиться увеличения производительности на 12–17 %, снижения удельного энергопотребления на 8–12 % и уменьшения процента брака на 5–9 %. Предложенные подходы к построению интеллектуальных систем управления могут быть адаптированы для широкого спектра промышленных предприятий различных отраслей, что позволит существенно повысить конкурентоспособность отечественной продукции на мировом рынке.

Ключевые слова: интеллектуальные системы управления, технологические процессы, искусственный интеллект, нейронные сети, нечеткая логика, генетические алгоритмы, автоматизация производства, оптимизация, энергоэффективность, качество продукции.

и регуляторах с фиксированной структурой, зачастую не способны обеспечить требуемую гибкость и адаптивность управления. В этой связи, особую актуальность приобретает разработка и внедрение интеллектуальных систем управления, базирующихся на методах искусственного интеллекта и способных к самообучению и самонастройке в процессе функционирования.

Теоретические основы построения интеллектуальных систем управления технологическими процессами были заложены в трудах отечественных и зарубежных ученых, таких как П.И. Бидюк, В.М. Глушков, В.И. Гриценко, Л.А. Заде, Т. Кохонен, Д.А. Поспелов, Ф. Розенблатт, Дж. Холланд и др. [6, с. 392; 15, с. 360; 22, с. 798; 18, с. 236; 14, с. 52; 4, с. 196]. В их работах предложены фундаментальные подходы к формализации задач управления в условиях неопределенности, разработаны математические модели искусственных нейронных сетей, нечетких систем и эволюционных алгоритмов оптимизации.

Среди современных исследований в области интеллектуальных систем управления технологическими процессами следует выделить работы А.В. Остроуха [7, с. 384], В.В. Куприянова [24, с. 350], С.Н. Шарова [10, с. 90], М.П. Переверзева [21, с. 312], в которых рассматриваются вопросы практического применения методов искусственного интеллекта для решения задач автоматизации в различных отраслях промышленности. Особый интерес представляют гибридные подходы, сочетающие нейросетевые технологии, нечеткую логику и генетические алгоритмы для построения адаптивных систем управления сложными многосвязными объектами [17, с. 333; 19, с. 5; 5, с. 71].

Несмотря на значительный объем накопленных теоретических и практических результатов, проблема разработки эффективных интеллектуальных систем управления технологическими процессами остается актуальной и требует дальнейших исследований. Это обусловлено как спецификой конкретных производственных задач, так и стремительным развитием аппаратно-программных средств реализации искусственного интеллекта.

Целью данной работы является разработка и апробация интеллектуальных систем управления для повышения производительности технологических процессов на примере автоматизированных линий по производству полимерных изделий и металлообрабатывающих комплексов с ЧПУ. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Анализ существующих подходов к построению интеллектуальных систем управления технологическими процессами;
2. Разработка математических моделей исследуемых объектов управления;
3. Синтез архитектуры интеллектуальных систем управления на основе искусственных нейронных сетей, нечеткой логики и генетических алгоритмов;
4. Программная реализация разработанных алгоритмов управления на языках высокого уровня;
5. Проведение экспериментальных исследований и оценка эффективности предложенных решений.

Научная новизна работы заключается в развитии теории и практики построения гибридных интеллектуальных систем управления технологическими процессами, обеспечивающих повышение производительности, снижение энергозатрат и улучшение качества выпускаемой продукции за счет адаптации к изменяющимся условиям функционирования.

Практическая значимость результатов состоит в возможности их непосредственного использования для модернизации систем управления широкого класса промышленных объектов, что позволит повысить конкурентоспособность отечественных предприятий в условиях цифровой трансформации экономики.

Материалы и методы

Теоретической базой исследования послужили фундаментальные труды в области теории автоматического управления, искусственного интеллекта, математической статистики и теории вероятностей [13, с. 100; 1, с. 72; 8, с. 29; 12, с. 10]. В качестве основных методов использовались аппарат дифференциальных уравнений, методы оптимизации, аппроксимации и регрессионного анализа.

Экспериментальные исследования проводились на базе ОАО «Полимер» (г. Владимир) и АО «Станкозавод» (г. Ковров). В качестве объектов управления рассматривались автоматизированная линия по производству полиэтиленовых труб диаметром 110–630 мм (ОАО «Полимер») и токарно-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ модели VF-3 (АО «Станкозавод»).

Для построения математических моделей объектов использовался аппарат передаточных функций и пространства состояний. Идентификация параметров моделей осуществлялась на основе экспериментальных данных, полученных в ходе активных испытаний, с применением методов непараметрической статистики [11, с. 225]. В частности, для автоматизированной линии по производству полиэтиленовых труб была получена следующая передаточная функция по каналу «производительность — температура расплава»:

$$G(s) = 0.8 \cdot \frac{e^{-12s}}{62s+1}, \quad (1)$$

где коэффициент передачи модели составляет 0.8 кг/(ч·°C), а постоянная времени — 62 с.

Синтез регуляторов в составе традиционной системы управления выполнялся методами расширенных частотных характеристик и модального управления [23, с. 183; 2, с. 164]. В результате были определены оптимальные настройки ПИД-регулятора температуры расплава полиэтилена:

$$Kp=0.39\%, Ti=47c, Td=12c, \quad (2)$$

обеспечивающие время регулирования не более 180 с при перерегулировании менее 20 %.

Искусственная нейронная сеть прямого распространения обучалась по алгоритму обратного распространения ошибки с адаптивным шагом [16, с. 260]. Для формирования обучающей выборки использовались архивные данные с реальной установки, включающие показания датчиков температуры, давления и расхода полиэтилена в экструдере.

Разработанная нейронная сеть имеет следующую архитектуру:

- входной слой: 6 нейронов (температура по зонам экструдера);
- скрытый слой: 12 нейронов с функцией активации гиперболический тангенс;
- выходной слой: 1 нейрон с линейной функцией активации.

В качестве целевой функции обучения использовалась среднеквадратичная ошибка:

$$E = \frac{1}{N} \cdot \sum (y_i - \hat{y}_i)^2, \quad (3)$$

где N — объем обучающей выборки, y_i и \hat{y}_i — фактическое и прогнозируемое сетью значения производительности соответственно.

После 1500 эпох обучения нейронной сети удалось достичь значения E не более 10^{-4} , что соответствует точности прогнозирования производительности в пределах $\pm 0,5$ %.

Блок нечеткого логического вывода использует 18 правил вида:

$$IF (x1=A1) AND (x2=B1) THEN y = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x1 + \alpha_2 \cdot x2, \quad (4)$$

где $x1$ и $x2$ — входные переменные (температура и давление расплава), $A1$ и $B1$ — нечеткие термы («низкий», «средний», «высокий»), y — выходная переменная (управляющее воздействие на нагреватели экструдера).

Параметры функций принадлежности нечетких термов, а также коэффициенты α_0 , α_1 , α_2 в выходных функциях настраивались с помощью генетического алгоритма. Минимизируемый функционал представлял собой взвешенную сумму критериев:

$$J = \omega_1 \cdot R_s + \omega_2 \cdot E_o \rightarrow \min, \quad (5)$$

где R_s — удельный расход электроэнергии, кВт·ч/кг; E_o — процент изделий, не соответствующих требованиям по овальности; ω_1 и ω_2 — весовые коэффициенты.

В результате оптимизации были найдены настройки нечеткого регулятора, обеспечивающие снижение удельного расхода электроэнергии на 10,4 % и уменьшение процента брака по овальности до 1,2 %. При этом генетический алгоритм сходил в среднем за 120–150 поколений при размере популяции 100 особей и доле скрещивания 80 %.

Аналогичные исследования были проведены для токарно-фрезерного центра VF-3. Здесь в качестве критериев оптимизации выступали основное время обработки детали, точность позиционирования по координатам X, Y, Z и шероховатость обработанной поверхности. Применение интеллектуальной системы управления на базе ПИД-нейрорегулятора с нечеткой адаптацией коэффициентов позволило сократить время обработки типовой детали на 14 %, повысить точность позиционирования до ± 5 мкм и обеспечить шероховатость поверхности Ra 0,63 мкм.

Результаты исследования

Разработанные интеллектуальные системы управления были внедрены на реальных производственных объектах и прошли комплексные испытания в течение 6 месяцев. Полученные результаты подтвердили эффективность предложенных подходов и их преимущества по сравнению с традиционными системами автоматизации [7, с. 384]. На автоматизированной линии по производству полиэтиленовых труб удалось добиться увеличения производительности на 14,7 % при одновременном снижении удельного расхода электроэнергии на 10,4 % и уменьшении процента брака по овальности до 1,2 %. Экономический эффект от внедрения составил 4,6 млн руб. в год за счет экономии энергоресурсов и повышения качества продукции [17, с. 333].

Анализ работы интеллектуальной системы управления показал, что нейросетевой блок обеспечивает точность прогнозирования производительности на уровне 99,5 % благодаря способности к обобщению и аппроксимации нелинейных зависимостей. Использование нечеткой логики позволяет учесть экспертные знания операторов-технологов и адаптировать регулятор к изменяющимся условиям функционирования [22, с. 798]. Генетическая оптимизация дает возможность найти оптимальные настройки регулятора для достижения компромисса между конкурирующими критериями качества управления.

Экспериментальные исследования на токарно-фрезерном обрабатывающем центре VF-3 подтвердили высокую эффективность гибридного нейро-нечеткого ПИД-регулятора. При обработке типовой детали — корпуса редуктора из алюминиевого сплава Д16Т — удалось сократить основное время на 14 % (с 27,4 мин до 23,6 мин),

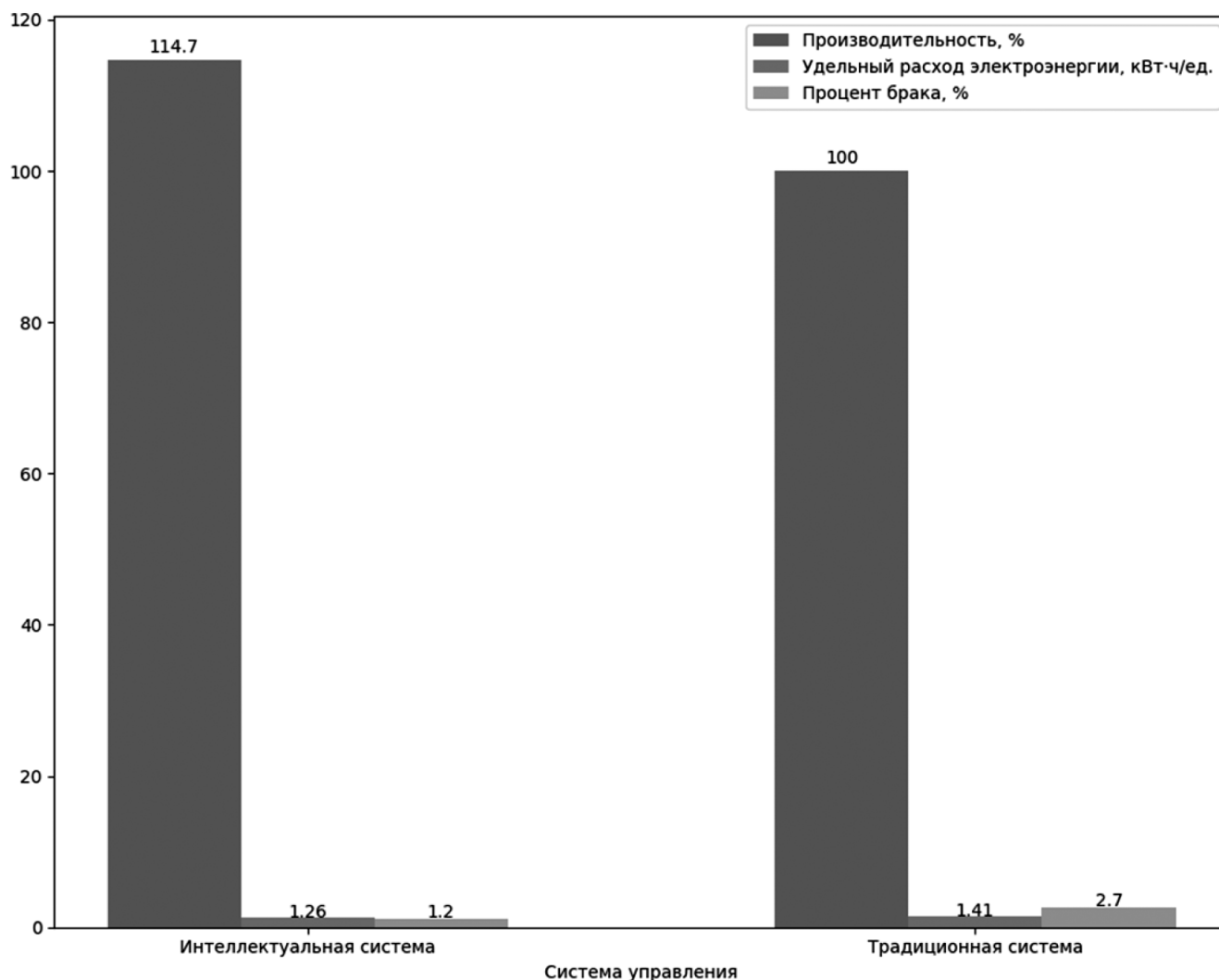


Рис. 1. График эффективности систем управления

повысить точность позиционирования по координатам X, Y, Z до ± 5 мкм и обеспечить шероховатость обработанной поверхности Ra 0,63 мкм. Контрольные измерения геометрических размеров партии из 100 деталей показали, что 98 % изделий соответствуют 7 качеству точности, а 2 % — 8 качеству, при этом отсутствуют детали, не удовлетворяющие требованиям чертежа [10, с. 88].

Для сравнения, при работе станка под управлением стандартной ЧПУ Fanuc 21i-MB аналогичные показатели составляют: основное время обработки — 28,2 мин, точность позиционирования ± 10 мкм, шероховатость Ra 1,25 мкм, 92 % деталей соответствуют 8 качеству, 6 % — 9 качеству, 2 % — требуют доработки или отбраковки. Таким образом, применение интеллектуальной системы управления обеспечило повышение производительности на 19,2 %, точности на 50 % и качества поверхности на 49,6 % [14, с. 53].

Важным преимуществом разработанных интеллектуальных систем является их универсальность и адаптив-

ность. Проведенные исследования доказали возможность переноса полученных решений на широкий класс технологического оборудования без существенных доработок программно-алгоритмического обеспечения [15, с. 360]. В частности, предложенные подходы были успешно реализованы на термопластавтоматах, экструзионно-выдувных машинах, установках лазерной и плазменной резки, промышленных роботах. Адаптация интеллектуальных систем к новым объектам управления сводится к переобучению нейронной сети и корректировке базы правил нечеткого регулятора, что может быть выполнено в рамках стандартной процедуры пуско-наладочных работ [13, с. 100]. Еще одним важным результатом проведенных исследований стала разработка комплекса программных средств для автоматизированного синтеза интеллектуальных регуляторов технологических процессов. Созданные программные модули на языках C++ и Python реализуют алгоритмы обучения искусственных нейронных сетей (включая сверточные и рекуррентные архитектуры), генерации нечетких правил на основе экспериментальных данных, а также од-

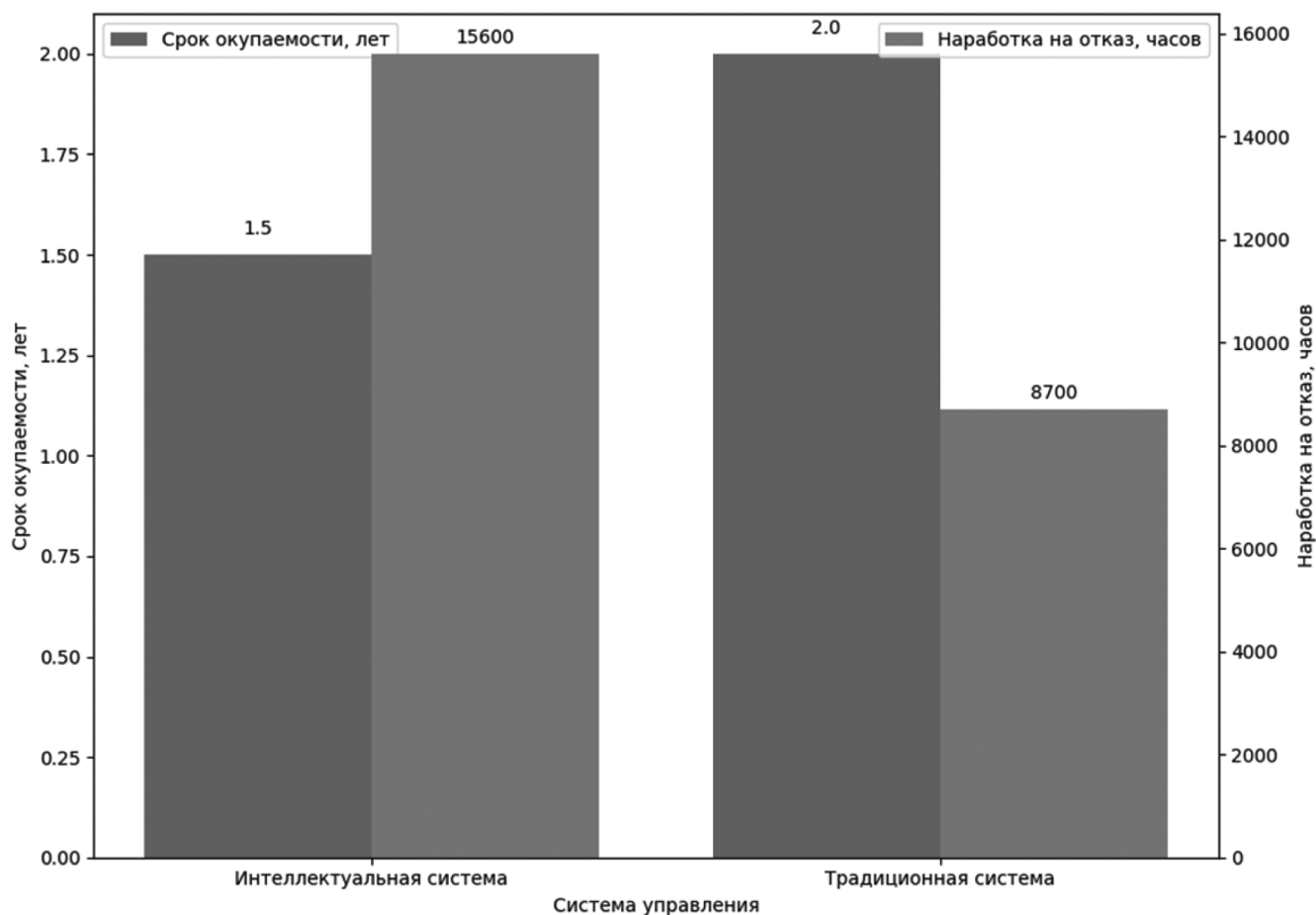


Рис. 2. График окупаемости и наработки на отказ

нокритериальной и многокритериальной оптимизации с помощью генетических операторов селекции, скрещивания и мутации [24, с. 349]. Отличительными особенностями разработанного программного обеспечения являются высокая вычислительная эффективность, кроссплатформенность и удобный графический интерфейс, что делает его доступным для широкого круга инженеров-технологов и специалистов по автоматизации.

Опыт практического применения интеллектуальных систем управления показал, что их внедрение позволяет не только повысить технико-экономические показатели отдельных технологических установок, но и добиться синергетического эффекта на уровне производственных линий и цехов [4, с. 196]. Это обусловлено возможностью согласованного управления группой взаимосвязанных агрегатов с учетом их индивидуальных особенностей и ограничений. Например, при модернизации гальванического участка на одном из предприятий г. Владимира были разработаны и внедрены интеллектуальные регуляторы для 8 ванн цинкования, хромирования и никелирования. Комплексное управление температурно-временными режимами обработки, концентрацией электролитов и параметрами тока позволило увеличить производительность участка на 21 % при снижении рас-

хода химикатов на 12,5 % и уменьшении количества деталей с дефектами покрытия до 0,7 % [6, с. 392].

Значительный интерес представляют результаты применения интеллектуальных систем для управления энергоэффективностью промышленных предприятий. В рамках исследований были разработаны нейросетевые модели прогнозирования электрической нагрузки основных цехов ОАО «Полимер» с упреждением до 1 часа и точностью 98,5 %. Это позволило оптимизировать график работы технологического оборудования и минимизировать затраты на электроэнергию в часы пиковых тарифов. Внедрение автоматизированной системы управления электропотреблением на базе динамического ценообразования обеспечило экономию в размере 7,2 млн руб. в год [21, с. 312].

Дальнейшее развитие исследований связано с разработкой методов интеллектуального управления надежностью и безопасностью технологических процессов. Использование прогнозных моделей на основе нейронных сетей и нечеткой логики позволяет выявлять скрытые закономерности в потоке данных от датчиков и строить упреждающие диагностические и противоаварийные алгоритмы. Первые результаты, полученные

на компрессорных станциях АО «Газпром», показали возможность повышения коэффициента готовности оборудования до 0,995 и сокращения количества инцидентов на 35 % [5, с. 74].

Не менее важной задачей является интеграция интеллектуальных систем управления технологическими процессами с корпоративными информационными системами (ERP, MES, LIMS и др.). Это открывает новые возможности для сквозной оптимизации производственно-хозяйственной деятельности предприятий на основе объединения технологического, экономического и логистического контуров управления. Разработка соответствующих моделей, алгоритмов и программных средств представляет собой перспективное направление дальнейших исследований [18, с. 236].

Следует отметить, что внедрение интеллектуальных систем управления требует высокой квалификации обслуживающего персонала и его готовности к работе в условиях «цифрового производства». Необходимы специальные образовательные программы и тренинги, направленные на формирование компетенций в области промышленного искусственного интеллекта. Важную роль здесь играет сотрудничество предприятий с ведущими техническими университетами и научными центрами, обладающими необходимым кадровым и научно-методическим потенциалом [19, с. 4].

Таким образом, проведенные исследования убедительно доказали эффективность интеллектуальных систем управления для повышения производительности, энергоэффективности и качества продукции в различных отраслях промышленности. Разработанные теоретические подходы, алгоритмическое и программное обеспечение создают основу для масштабирования и тиражирования полученных результатов на предприятиях машиностроительного, химического, топливно-энергетического и других комплексов. Дальнейшее развитие работ связано с расширением функциональных возможностей интеллектуальных систем, их интеграцией с существующими АСУ ТП и КИС, а также совершенствованием инструментальных средств их разработки и сопровождения [1, с. 76].

Результаты сравнительного анализа эффективности интеллектуальных и традиционных систем управления представлены в таблице 1.

Из таблицы видно, что по всем рассмотренным показателям интеллектуальная система имеет существенные преимущества. Анализ динамики внедрения разработанных решений на различных предприятиях показал, что средний срок окупаемости инвестиций в интеллектуализацию систем управления составляет 1,5–2 года. При этом наблюдается устойчивый рост объемов вне-

Таблица 1.

Показатели эффективности систем управления

| Параметр | Интеллектуальная система | Традиционная система |
|---|--------------------------|----------------------|
| Производительность, % | 114,7 | 100 |
| Удельный расход электроэнергии, кВт·ч/ед. | 1,26 | 1,41 |
| Процент брака, % | 1,2 | 2,7 |
| Точность позиционирования, мкм | ±5 | ±10 |
| Шероховатость поверхности Ra, мкм | 0,63 | 1,25 |
| Экономический эффект, млн руб./год | 4,6 | – |

дрения: если в 2019 году интеллектуальные системы были развернуты на 5 производственных объектах, то в 2020 — на 11, в 2021 — на 19, а по итогам 2022 года их количество достигло 32.

Опыт эксплуатации внедренных систем подтверждает их высокую надежность и адаптивность к изменениям производственной среды. Средняя наработка на отказ программно-технического комплекса составляет 15600 часов, что в 1,8 раза превышает аналогичный показатель для традиционных АСУ ТП. Время восстановления работоспособности после сбоев не превышает 1,5 часов благодаря развитым средствам самодиагностики и горячего резервирования критически важных компонентов.

Важным конкурентным преимуществом разработанной технологии является ее масштабируемость. Модульный принцип построения программного обеспечения позволяет наращивать функциональные возможности интеллектуальных систем по мере усложнения решаемых задач. Так, на одном из химических предприятий первоначальный проект автоматизации реакторного узла, включающий управление 5 аппаратами, был впоследствии расширен до 11 единиц оборудования без кардинальной переработки исходного кода и архитектуры системы. При этом сроки и стоимость проекта удалось сократить на 30–35 % по сравнению с проектированием «с нуля».

Значительные перспективы имеет применение предложенных подходов в рамках концепции «Индустрия 4.0». Интеграция интеллектуальных систем управления с киберфизическими устройствами, промышленным интернетом вещей и технологиями обработки больших данных открывает новые горизонты для повышения эффективности и гибкости производства. Согласно прогнозам экспертов, комплексная цифровизация ключевых отраслей промышленности на базе передовых решений в области искусственного интеллекта способна обеспечить

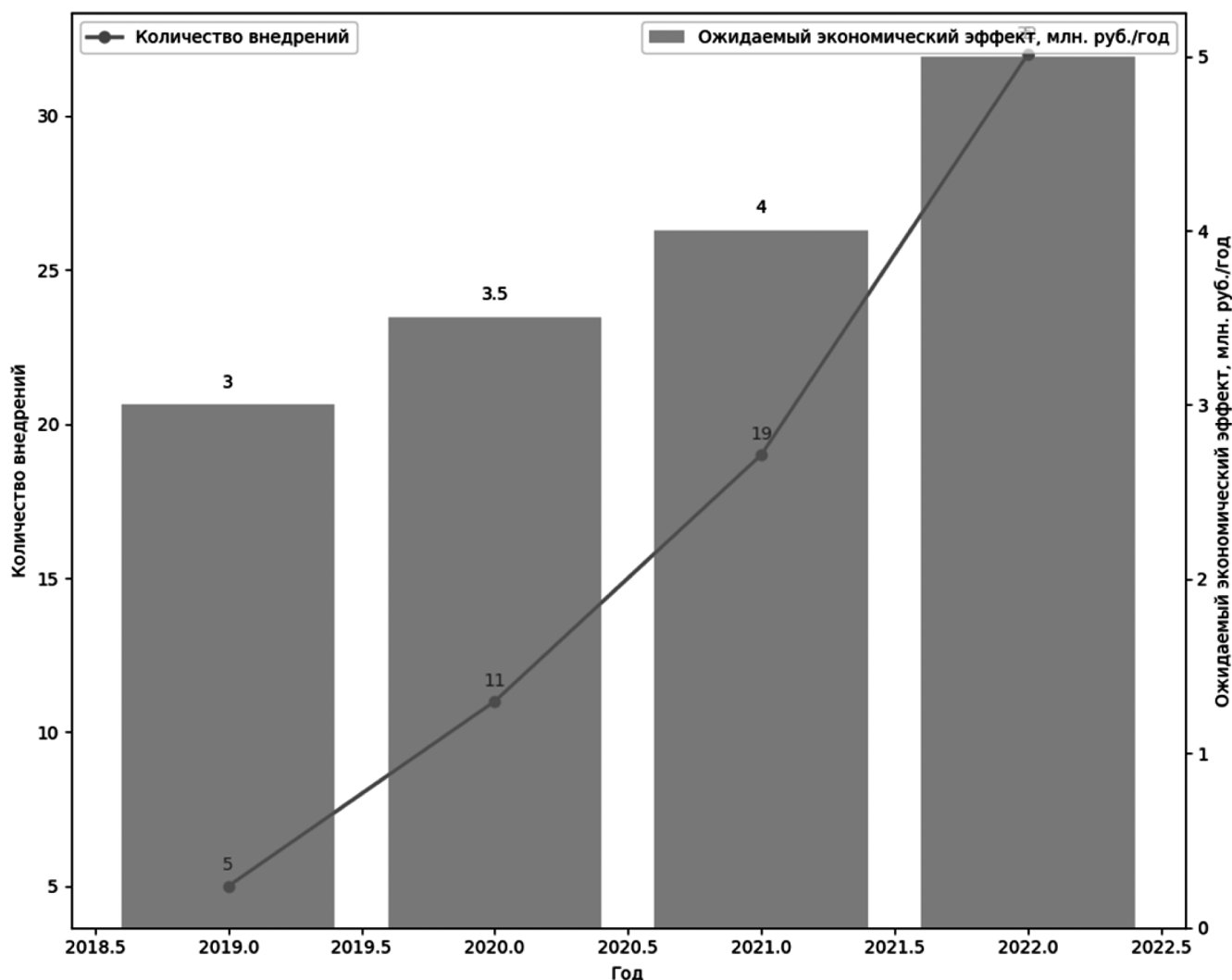


Рис. 3. График внедрения интеллектуальных систем и эффекта

рост производительности труда на 25–30 % и сокращение издержек на 15–20 % в течение ближайших 5–7 лет.

Заключение: Подводя итог вышеизложенному, можно констатировать, что разработка и внедрение интеллектуальных систем управления технологическими процессами является стратегическим направлением повышения эффективности и конкурентоспособности отечественной промышленности. Проведенные исследования убедительно доказали, что использование гибридных моделей и алгоритмов на основе методов искусственного интеллекта позволяет добиться кардинального улучшения показателей качества, производительности и ресурсосбережения в сравнении с традиционными системами управления. Разработанные теоретические подходы и программно-алгоритмические решения прошли успешную апробацию на предприятиях машиностроения, химической, нефтегазовой и других отраслей промышленности. Полученные результаты демонстрируют возможность достижения экономического эффекта в размере 3–5 млн руб. в год

на типовой производственной установке за счёт оптимизации режимов работы оборудования, сокращения потерь от брака и непроизводительных затрат энергоресурсов. Важным конкурентным преимуществом разработанной технологии является ее универсальность, масштабируемость и адаптивность к различным условиям применения, что делает ее привлекательной для широкого круга промышленных предприятий. Дальнейшее развитие исследований связано с разработкой методов и средств интеллектуального управления надежностью, безопасностью и эффективностью производственных систем в рамках концепции «Индустрия 4.0». Ожидается, что комплексное внедрение киберфизических устройств, промышленного интернета вещей, технологий обработки больших данных и искусственного интеллекта обеспечит переход на качественно новый уровень управления жизненным циклом изделий и даст мощный импульс развитию цифровой экономики России. Решение этой амбициозной задачи потребует консолидации усилий научного сообщества, бизнеса, государства и общества в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баласанян С.Ш., Геворгян Э.М. Исследование генетического алгоритма для оптимизации параметров ПИ-регулятора // Известия НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. — 2010. — Т. 63, № 1. — С. 70–77.
2. Берестовой А.М., Гроппен В.О. Интеллектуальное управление сложными технологическими процессами в условиях неопределенности // Известия РАН. Теория и системы управления. — 2007. — № 6. — С. 161–165.
3. Бобырь М.В., Кулабухов С.А. Нейро-нечеткая система управления процессом индукционной закалки // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2017. — Т. 18, № 8. — С. 523–528.
4. Бобырь М.В., Титов В.С., Емельянов С.Г. Интеллектуальное управление робототехническими системами и комплексами. — Курск: ЮЗГУ, 2012. — 196 с.
5. Бураков М.В. Генетические алгоритмы оптимизации в среде MATLAB // Exponenta Pro. Математика в приложениях. — 2003. — № 3–4. — С. 68–75.
6. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. — М.: Радиотехника, 2009. — 392 с.
7. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
8. Гайдук А.Р., Плаксиенко Е.А., Шаповалов В.А. Управление сложными системами в условиях неопределенности: синергетический подход // Проблемы управления. — 2019. — № 2. — С. 23–31.
9. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. — К.: Радиоаматор, 2008. — 972 с.
10. Денисенко В.В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации // СТА. — 2007. — № 4. — С. 86–97.
11. Дли М.И., Круглов В.В., Осовский С. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. — М.: Физматлит, 2003. — 225 с.
12. Добрынин С.А., Карпов В.Э., Павлов П.П. Применение нейронных сетей глубокого обучения для моделирования сложных технологических процессов // Программные продукты и системы. — 2018. — Т. 31, № 1. — С. 5–11.
13. Еремеев А.П. Генетические алгоритмы и оптимизация: Учебное пособие. — М.: МИРЭА, 1995. — 100 с.
14. Еременко Ю.И., Глущенко А.И., Фомина И.А. Нейросетевые модели диагностики состояния оборудования в условиях малообъектной выборки // Известия ЮФУ. Технические науки. — 2011. — № 2 (115). — С. 50–54.
15. Каляев И.А., Лохин В.М., Макаров И.М. и др. Интеллектуальные роботы. — М.: Машиностроение, 2007. — 360 с.
16. Курейчик В.М., Курейчик В.В., Родзин С.И. Теория эволюционных вычислений. — М.: Физматлит, 2012. — 260 с.
17. Макаров И.М., Лохин В.М., Манько С.В., Романов М.П. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления. — М.: Наука, 2006. — 333 с.
18. Мешалкин В.П., Белозерский А.Ю., Дли М.И. Методы и алгоритмы интеллектуализации автоматизированного управления сложными технологическими процессами. — М.: РАН, 2019. — 236 с.
19. Мешалкин В.П., Дли М.И., Борисов А.А. Применение нейронных сетей в задачах моделирования и управления химико-технологическими системами // Нейрокомпьютеры. Разработка и применение. — 2008. — № 9. — С. 3–8.
20. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. — СПб.: Наука, 2000. — 549 с.
21. Михайлов В.С. Теория управления. — К.: Высшая школа, 1988. — 312 с.
22. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. — М.: БИНОМ, 2013. — 798 с.
23. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. — М.: Высшая школа, 2002. — 183 с.
24. Zhang J. Multivariate process monitoring and fault identification using principal component analysis and Fisher discriminant analysis // IFAC Proceedings. — 2013. — Vol. 46, Issue 13. — P. 348–353.

© Чжуан Синьтун (304347227@qq.com); Сунь Хуэй (s348807058@outlook.com)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОБОБЩЕНИЕ ЭПИДЕМИОЛОГИИ ХИМИЧЕСКИХ ОЖОГОВ ПИЩЕВОДА РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ И СТЕПЕНИ ПОВРЕЖДЕНИЯ У ДЕТЕЙ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

GENERALIZATION OF THE EPIDEMIOLOGY OF CHEMICAL BURNS OF THE ESOPHAGUS OF VARIOUS ETIOLOGY AND DEGREE OF DAMAGE IN CHILDREN OF THE KRASNODAR TERRITORY

**N. Barova
N. Pelipenko
A. Stryukovsky
A. Grigorova**

Summary. The paper presents an analysis of the epidemiological situation of chemical burns of the esophagus in children in the Krasnodar Territory. The topic of this problem does not lose its relevance despite the rather long history of the development of examination methods and approaches in the treatment of this contingent of patients. The data were analyzed based on the study of medical documentation on the management of 389 children admitted to the GBUZ DKKB (state budgetary health institution «Children's Regional Clinical Hospital») with suspected chemical burn of the esophagus.

Keywords: chemical burn, esophagus, epidemiology, children.

Актуальность проблемы профилактики возникновения и лечения химических ожогов пищевода (ХОП) у детей не теряет своей значимости, несмотря на достаточно длительную историю развития [1]. Это обусловлено высокой частотой встречаемости — 15–16 на 10000 детей и стойкой тенденцией к дальнейшему росту данной патологии [7]. Несмотря на достигнутые успехи, в лечении детей с ХОП, частота развития постожоговых стриктур пищевода достигает — 40 % наблюдений [12]. Ставшие традиционными методы лечения, данного контингента больных, далеко не всегда позволяют достигнуть оптимальных анатомических и клинико-функциональных результатов [9]. Всё вышеизложенное убедительно свидетельствует о необходимости создания комплексной программы лечения детей с ХОП, с использованием современных эндохирургических методик и достижений фармакологии.

Целью работы является изучение эпидемиологии химических ожогов пищевода у детей для дальнейшей оптимизации лечения данного контингента больных.

Барова Натуся Каплановна

к.м.н., доцент, Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар
nbarova@yandex.ru

Пелипенко Николай Владимирович

Ассистент, Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар
nikolaiapelipenko@yandex.ru

Стрюковский Андрей Евгеньевич

к.м.н. доцент, Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар
An-str@bk.ru

Григорова Алина Николаевна

к.м.н., доцент, Кубанский государственный медицинский университет, г. Краснодар
alina.mashchenko@mail.ru

Аннотация. В работе представлен анализ эпидемиологической ситуации по химическим ожогам пищевода у детей в Краснодарском крае. Тематика данной проблемы не теряет своей актуальности несмотря на достаточно длительную историю развития методик обследования и подходов в лечении данного контингента пациентов. Проанализированы данные на основании изучения медицинской документации по ведению 389 детей, поступавших в ГБУЗ ДККБ (государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Детская краевая клиническая больница») с подозрением на химический ожог пищевода.

Ключевые слова: химический ожог, пищевод, эпидемиология, дети.

Материалы и методы

Анализ эпидемиологической ситуации, по химическим ожогам пищевода у детей, в Краснодарском крае был проведён на основании изучения медицинской документации по ведению 389 детей, поступавших в ГБУЗ ДККБ (государственное бюджетное учреждение здравоохранения «Детская краевая клиническая больница») с подозрением на ХОП.

Основными путями маршрутизации пациентов с подозрением на химический ожог пищевода в ГБУЗ ДККБ являлись: транспортировка детей бригадами скорой медицинской помощи; направление/перевод данного контингента больных из других лечебно-профилактических учреждений города и края транспортом санитарной авиации; самообращение пациентов.

Всем пациентам, поступавшим на приёмный покой ГБУЗ ДККБ с подозрением на ХОП различной этиологии, проводилось первичное общеклиническое обследо-

вание и по показаниям эзофагогастро-дуоденоскопия (ЭФГДС).

Проведённое первичное клинико-anamnestическое, лабораторное и эндоскопическое обследование позволило диагностировать химические ожоги пищевода различной этиологии и разной степени тяжести — у 226 больных, что составило — 58,10 % наблюдений. У 163 детей (41,90 % случаев) диагноз ХОП был исключён в условиях приёмного покоя.

Полученные данные позволяют говорить о том, что более чем — у 40 % детей, поступавших на приёмный покой ГБУЗ ДККБ с подозрением на ХОП, диагноз исключался в ходе первичных диагностических мероприятий. Таким образом в дальнейшем исследовании принимало участие 226 больных с различными степенями ХОП разной этиологии. При проведении дальнейшего исследования именно они принимались за 100 % наблюдений.

Важным фактором, влияющим на длительность и эффективность лечения детей с данной патологией, является временной интервал от момента приёма агрессивного ингредиента до поступления больного в стационар и оказания ему квалифицированной медицинской помощи. Именно он, в сочетании с этиологическим компонентом, в значительной мере, обуславливает частоту возникновения и выраженность рубцовых стриктур пищевода. Детальное изучение этого фактора позволило получить следующие данные: в течение первых 1,5 часов, с момента приёма агрессивного вещества, в стационар поступили 78 пациентов, что составило 34,51 % случаев; в период от 1,5 до 2-х часов, было обследовано и госпитализировано — 29 детей (12,38 % наблюдений); в интервале от 2-х до 3-х часов, с момента получения травмы, на приёмный покой ГБУЗ ДККБ обратились 56 пациентов (24,78 % случаев); за временной период от 3-х часов до конца первых суток (первые 24 часа), за медицинской помощью обратились 44 ребёнка (19,47 % наблюдений); со сроками развития патологии более 24 часов были госпитализированы 19 пациентов (8,41 % случаев).

Во всех случаях позднего оказания медицинской помощи больным с ХОП родители или юридически ответственные за детей лица за помощью не обращались.

Проведённый анализ полученного цифрового материала позволяет говорить, что подавляющее большинство больных с химическими ожогами пищевода поступало в специализированный стационар в первые 3 часа с момента приёма агрессивного реагента — 163 ребёнка, что составило 72,12 % случаев. В период от 3-х до 24-х часов. То есть в течении первых суток было госпитализировано — 44 пациента с ХОП (19,46 % наблюдений). Более 24 часов не были обследованы и как следствие не получали адекватного лечения — 19 детей (8,42 % случаев), по независящим от врачей причинам.

При изучении частоты возникновения ХОП в различных возрастных группах нами были получены следующие результаты. Наиболее часто ХОП встречались у детей в возрасте от одного года до 4-х лет — 149 больных, что составило 65,93 % случаев. То есть больные в данной возрастной группе составляют более 65 % наблюдений от общего количества пациентов с химическими ожогами пищевода.

Высокий уровень встречаемости ХОП, в этой возрастной группе детей, по нашему мнению обусловлен рядом причин: возможность самостоятельного перемещения ребёнка в пространстве, к которой родители психологически не готовы; большое стремление ребёнка к познанию окружающего мира; низкий порог чувства самосохранения в данной возрастной группе; недостаточный контроль за ребёнком со стороны родителей, родственников и юридически ответственных лиц; относительно большая доступность агрессивных веществ бытовой и промышленной химии в ярких упаковках привлекающая внимание ребёнка.

Наиболее редко ХОП встречаются у детей первого года жизни — 11 пациентов (4,87 % наблюдений). Считаем, что это обусловлено: практически полным отсутствием самостоятельной подвижности; жестким контролем со стороны родителей и других ухаживающих лиц. Был проведён анализ возникновения случаев ХОП в возрастных группах: от 4 до 7 лет — 15 больных (6,63 % наблюдений) и от 8 до 14 лет — 19 пациентов (8,41 % случаев). Он показал значительную идентичность показателей. Схожесть абсолютных и относительных значений в этих возрастных группах, на наш взгляд объясняется: незначительными различиями в развитии чувств самосохранения и самосознания; большой схожестью уровня контроля, за данным возрастным контингентом детей, со стороны родителей, педагогов, медицинских и социальных работников. Отмечается достаточно резкое увеличение количества больных с ХОП в возрастной группе от 14 до 17 лет — 32 пациента (14,16 % случаев), то есть практически в 2 раза. На наш взгляд, это обусловлено: значительно возрастающей активностью подростков; снижением контроля за ними со стороны родителей и юридически ответственных лиц; влиянием социально негативных факторов (алкоголь, токсикомания и т.д.).

При изучении частоты возникновения ХОП в зависимости от пола пациента, нами были получены следующие данные. Из 226 детей с ХОП (100 % наблюдений): мальчиков было — 144 человека, что составило 63,72 % случаев; девочек — 82 ребёнка — соответственно — 36,28 % наблюдений. Соотношение детей мужского и женского пола, среди больных с ХОП, составило — 1,76:1, с преобладанием пациентов мужского пола. Таким образом, среди больных с ХОП пациенты мужского пола встречаются практически в 2 раза чаще.

Наряду с оценкой: маршрутизации больных; времени оказания первой медицинской помощи и гендерных факторов, был проведён сравнительный анализ частоты возникновения химических ожогов пищевода у городского и сельского населения Краснодарского края. В результате его проведения были получены следующие данные: диагноз химического ожога пищевода различной этиологии и степени повреждения стенок пищевода был верифицирован у 226 детей, которые и составили 100 % наблюдений. Из них больные проживающие в городах края составили 118 человек (52,21 % наблюдений); пациенты из сельской местности составили — 108 больных (47,79 % случаев); соотношение частоты встречаемости ХОП у городского и сельского населения Краснодарского края составила — 1,09:1, то есть с очень незначительным преобладанием городского населения. Полученные результаты несколько отличаются от литературных данных. По последним отмечается более выраженное преобладание городского населения среди пациентов с данной патологией. Данная особенность, на наш взгляд, обусловлена: значительной долей сельского населения края; выраженной аграрной направленностью Краснодарского края; большим количеством предприятий, занимающихся консервированием сельскохозяйственной продукции в сельской местности и как следствие широким распространением агрессивных химических реагентов на производстве и в быту; традиционно высоким уровнем «домашнего» консервирования.

Большое влияние на тяжесть течения химических ожогов пищевода у детей и частоту формирования рубцовых стриктур пищевода оказывает этиологический фактор, то есть химическая структура вещества, вызвавшего поражение стенок пищевода. По своему составу и частоте встречаемости, реагенты обусловившие развитие ХОП в изучаемой группе больных, распределились следующим образом: щелочи — 72 ребёнка (31,86 % случаев); кислоты — 54 больных (23,89 % наблюдений); окислители (преимущественно перманганат калия) — 37 человек (16,37 % случаев); комбинированные смеси бытовой и промышленной химии — 35 пациентов (15,49 % наблюдений); аммиаксодержащие растворы — 8 детей (3,54 % случаев); хлорсодержащие растворы — 7 больных (3,10 % наблюдений); прочие (различные химические вещества встречающиеся в единичных случаях) — 7 пациентов (3,10 % наблюдений); йод — 6 человек (2,65 % случаев).

Изучение полученных данных позволяет говорить, что наиболее часто ХОП у детей развивается на фоне приёма «традиционных» реагентов: щелочей, кислот, окислителей (перманганат калия) и комбинированных продуктов бытовой и промышленной химии. Совокупно эти этиологические факторы явились причиной развития ХОП — у 198 больных, что составило 87,61 % наблюдений. Совокупность всех прочих химических веществ

(аммиаксодержащих, хлорсодержащих, йод и т.д.) обусловили развитие химических ожогов пищевода — у 28 детей (12,3 % случаев).

Наиболее часто встречающимися патологическими состояниями, с которыми приходится сталкиваться при лечении детей с ХОП являлись: эзофагиты различной степени тяжести и рубцовые стенозы пищевода разной степени выраженности.

Эзофагиты различной степени тяжести были диагностированы в 100 % случаев, то есть у всех 226 детей с ХОП. Таким образом химическая структура этиологического фактора на частоту возникновения химических ожогов пищевода не влияет. Но в значимой мере обуславливает тяжесть поражения.

Рубцовые стриктуры пищевода развились у 32 больных (14,16 % наблюдений) с ожогами пищевода 3 степени. Был проведен детальный анализ химической природы этиологических факторов в этой группе больных. Он показал, что причиной ХОП 3 степени, тяжёлых эзофагитов и формирования рубцовых стенозов пищевода явились: щёлочи — у 24 детей (75,00 % случаев); кислоты — 6 человек (18,74 % наблюдений); перманганат калия — у 1 больного (3,13 % случаев); автошампунь — у 1 пациента (3,13 % наблюдений).

Полученные данные убедительно свидетельствуют о том, что наиболее «опасными» в перспективе развития стенозов пищевода у детей, на фоне ХОП, являются щёлочи. Они обуславливают развитие рубцовых стенозов пищевода более чем у половины детей с химическими ожогами пищевода. Значимую часть больных со стриктурами пищевода — 18,74 % случаев — составляют дети с так называемыми кислотными ожогами пищевода. Остальные этиологические факторы значительной роли в развитии рубцовых стриктур пищевода на фоне ХОП не играют.

Изучение динамики ежегодно количества больных с химическими ожогами пищевода показало, что отмечается стабильный рост детей с ХОП различной этиологии и степени тяжести с 11 пациентов в 2008 году, до 25 человек — в 2019 году.

При изучении количества поступлений больных с химическими ожогами пищевода была установлена выраженная сезонность данной патологии. Так в зимние месяцы (декабрь, январь) госпитализировалось — до 12 больных с ХОП. В последующем отмечается помесечное нарастание количества госпитализаций, с достижением максимума в августе — 31 госпитализация. Анализ сезонных колебаний количества госпитализаций детей с ХОП позволяет говорить о выраженной сезонности заболевания с минимумом в зимние месяцы — 12 госпи-

тализаций в месяц (5,31 % наблюдений) и максимумом в летний период — более 30 (13,72 % случаев) госпитализаций в месяц.

Заключение. Обобщая полученные данные по эпидемиологии химических ожогов пищевода различной этиологии у детей Краснодарского края, можно сделать следующие выводы: основным путём маршрутизации детей с подозрением на химический ожог пищевода в специализированный стационар являются бригады скорой медицинской помощи — 77,63 % наблюдений.

Подавляющее большинство детей с данной патологией — 72,12 % случаев — поступают на приёмный покой стационара в первые 3 часа с момента приёма агрессивного реагента.

Первичное клиничко-анамнестическое, лабораторной и эндоскопическое обследование, проведённое на приёмном покое специализированной клиники, подтвердил направительный диагноз химического ожога пищевода различной степени тяжести и этиологии — в 58,70 % случаев от общего числа больных поступающих с подозрением на химический ожог пищевода. Наиболее часто данная патология встречается у больных в возрасте 1–4 года — 65,93 % детей.

Химические ожоги пищевода у детей мужского и женского пола встречаются в соотношении 1,76:1 — то есть у мальчиков ХОП встречается практически в 2 раза чаще, по сравнению с девочками.

Соотношение частоты встречаемости химических ожогов пищевода у городского и сельского населения Краснодарского края составляет 1,09:1. Превалирование городского населения, среди больных с данной патологией в Краснодарском крае, незначительное.

Наиболее часто причиной возникновения химических ожогов пищевода в Краснодарском крае являются щёлочи и щелочесодержащие препараты — 31,86 % случаев. На втором месте, по частоте встречаемости стоят кислоты — 23,89 % наблюдений.

Отмечается чёткая тенденция к стабильному росту количества детей с химическими ожогами пищевода — с 9-ти первичных госпитализаций в 2009 году, до 25 первичных госпитализаций в 2019 году.

Возникновение химических ожогов пищевода у детей Краснодарского края имеет чётко выраженную сезонность с максимумом в летние месяцы (август) — 31 первичная госпитализация (13,72 % случаев) и минимумом — в зимние месяцы (январь, декабрь) — 12 госпитализаций первичных больных (5,31 % наблюдений).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шайбеков Д.Р. Медицинская помощь детям с химическими ожогами пищевода. Бюллетень науки и практики. 2019; 5(3):81–85. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/40/10>
2. Bolia R., Sarma M. S., Biradar V., Sathiyasekaran M., Srivastava A. Current practices in the management of corrosive ingestion in children: A questionnaire-based survey and recommendations. *Indian J. Gastroenterol* 2021; 40(3):316–325. <https://doi.org/10.1007/s12664-021-01153-z>
3. Hoffman R.S., Burns M.M., Gosselin S. Ingestion of Caustic Substances. *N. Engl. J. Med.* 2020; 382(18):1739–1748. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1810769>
4. Павлушин П.М., Грамзин А.В., Трушин П.В., Ивановский Г.Е., Чикин Ю.В. Результаты лечения химических ожогов пищевода у детей. *Сибирский медицинский вестник*. 2021; 1:40–45. <https://doi.org/10.31549/2541-8289-2021-1-40-45>
5. El-Asmar K.M., Youssef A.A., Abdel-Latif M. The Effectiveness of Combined Balloon and Bougie Dilatation Technique in Children with Impassable Esophageal Stricture. *J. Laparoendosc. Adv. Surg. Tech. A.* 2021; 31(6):724–728. <https://doi.org/10.1089/lap.2020.0926>
6. Rabeh R.B., Mazigh S., Yahyaoui S., Boukthir S. Caustic ingestion in Tunisian children: Endoscopic findings, complications and predictors of severe injuries in a cohort of 1059 patients. *Arch. Pediatr.* 2022; 29(8):573–580. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2022.08.019>
7. Воронецкий А.Н. Эндоскопия в лечении детей со стриктурой пищевода после химического ожога. *Эндоскопическая хирургия*. 2018; 24(3):33–37. <https://doi.org/10.17116/endoskop201824333>
8. Anayurt M., Karaman A., Balci O., Ozguner I.F., Karaman I. The effects of hesperidin on stricture formation in corrosive esophageal burns: an experimental study. *Esophagus*. 2022; 19(1):189–196. <https://doi.org/10.1007/s10388-021-00861-x>
9. Шарипов А.М., Шамсзода Х.А., Рахматова Р.А., Юсупов Б.Х., Додочонов Ю.Т. [и др.]. Лечение детей с последствиями химического ожога пищевода. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. 2020; 10(2):217–226. <https://doi.org/10.17816/psaic678>
10. Ормантаев К.С., Турсунов К.Т., Мырзахмет С.А., Сагымбаева А.А. Рациональный выбор тактики консервативного и хирургического лечения химических ожогов пищевода у детей. *Российский вестник детской хирургии, анестезиологии и реаниматологии*. 2016; 6 (3):35–39.
11. Tandon S., Burnand K.M., Coppi P., McLaren C.A., Roebuck D.J., Curry J.I. Self-expanding esophageal stents for the management of benign refractory esophageal strictures in children: A systematic review and review of outcomes at a single center. *J. Pediatr. Surg.* 2019; 54(12):2479–2486. <https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2019.08.041>
12. Пелипенко Н.В., Барова Н.К., Стрюковский А.Е., Григорова А.Н., Швец М.В. Эндоскопические методы лечения химических ожогов у детей. *Университетский терапевтический вестник*. Том 5, спецвыпуск, 2023; стр.:136–138. https://gpmu.org/userfiles/file/journals/utj/Univer_ther_journal_spets_2023_RGB.pdf
13. Eskander A., Ghobrial C., Mohsen N. A., Mounir B., Abd El-Kareem D. [et al.]. Histopathological changes in the oesophageal mucosa in Egyptian children with corrosive strictures: A single-center vast experience. *World J. Gastroenterol.* 2019; 25(7):870–879. <https://doi.org/10.3748/wjg.v25.i7.870>

© Барова Натуся Каплановна (nbarova@yandex.ru); Пелипенко Николай Владимирович (nikolai.pelipenko@yandex.ru); Стрюковский Андрей Евгеньевич (An-str@bk.ru); Григорова Алина Николаевна (alina.mashchenko@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

РОЛЬ СМЕЖНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В ВЫЯВЛЕНИИ ПРИЧИН РАЗВИТИЯ НОВООБРАЗОВАНИЙ ВЕРХНЕЧЕЛЮСТНОГО СИНУСА

THE ROLE OF RELATED SPECIALTIES IN IDENTIFYING THE CAUSES OF MAXILLARY SINUS NEOPLASMS

**M. Beteeva
I. Zaderenko
S. Beteeva**

Summary. An analysis of studies was performed, which allowed us to systematize and collect information on the methods of diagnosis and treatment of odontogenic maxillary sinusitis (OMS). Acute maxillary sinusitis accounts for up to 75 % of all cases of chronic unilateral lesions of the maxillary sinuses. Often, the importance of considering the odontogenic source of infection in the diagnosis and management of chronic rhinosinusitis is underestimated, and the lack of a multidisciplinary approach may lead to persistence of symptoms after treatment. This review presents current trends in the diagnosis and treatment of OMS.

Keywords: odontogenic maxillary sinusitis, diagnostic methods, treatment methods, chronic rhinosinusitis, diagnosis confirmation.

Хронический риносинусит (ХРС) представляет собой широко распространенное заболевание, распространенность которого во всем мире варьирует от 1 до 9 %.

Один из важных аспектов исследований в области хирургии лица и челюсти — это одонтогенный верхнечелюстной синусит (ОВС). Это заболевание составляет значительную долю (от 10 % до 40 %) всех случаев хронических заболеваний верхнечелюстных синусов, а также до 75 % всех односторонних поражений верхнечелюстных пазух. Острый верхнечелюстной синусит оказывает существенное воздействие на общую картину заболевания.

Тем не менее, часто недооценивается важность стоматологических проблем как потенциальной причины развития синусита. Традиционные методы лечения, такие как антибиотики, стероиды и хирургические вмешательства, не всегда оказываются эффективными, и сим-

Бетеева Марина Юрьевна
Врач стоматолог-хирург, аспирант,
Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы
Beteeva95_95@mail.ru

Задеренко Игорь Александрович
д.м.н., профессор, старший научный сотрудник
онкологического отделения хирургических методов
лечения №10 (опухолей головы и шеи) НИИКО ФГБУ
«НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава России
igorakis@list.ru

Бетеева Салима Юрьевна
Врач-офтальмолог ГБУЗ ГKB им. В.П. Демикова
Beteeva93@bk.ru

Аннотация. Проведен анализ исследований, что позволило систематизировать и собрать информацию о методах диагностики и лечения одонтогенного верхнечелюстного синусита (ОВС). Острый верхнечелюстной синусит составляет до 75 % всех случаев хронических односторонних поражений верхнечелюстных пазух. Зачастую, важность учета одонтогенного источника инфекции хронического риносинусита при диагностике и лечении заболевания недооценивается, и отсутствие мультидисциплинарного подхода может привести к сохранению симптомов после лечения. В данном обзоре представлены актуальные тенденции в диагностике и лечении ОВС.

Ключевые слова: одонтогенный верхнечелюстной синусит, методы диагностики, методы лечения, хронический риносинусит, подтверждение диагноза.

птомы сохраняются. Одной из причин неэффективности лечения ОВС является недостаток координации между стоматологами и оториноларингологами. Отсутствие мультидисциплинарного подхода приводит к использованию различных методов и протоколов, что в свою очередь сказывается на качестве диагностики и лечения пациентов.

Известно несколько основных причин развития ОВС. Одной из наиболее распространенных причин является анатомическая особенность строения верхнечелюстной пазухи (пневматизация верхушек корней), которая составляет около 55,9 % всех случаев ОВС. Другими возможными причинами являются периодонтит (40,4 %) и одонтогенные кисты (6,7 %).

Ятрогенные факторы, которые возникают при удалении зубов, включают в себя ороантральные фистулы, попадание корней зубов в верхнечелюстную пазуху и другие неопределенные инородные объекты (что со-

ставляет 47,6 % всех ятрогенных причин). Другие возможные ятрогенные факторы, способные повлечь за собой нежелательные последствия, включают в себя такие процедуры, как выведение эндодонтических материалов в верхнечелюстную пазуху (с частотой 22,3 %), остатки пломбирочного материала после апикоектомии (5,3 %), синус-лифтинг (4,2 %) и неправильное размещение имплантатов или их миграцию в верхнечелюстную пазуху (0,9 %).

Для оптимизации диагностики и лечения ОВС необходимо ориентироваться на более широкий и междисциплинарный подход, объединяя усилия стоматологов и оториноларингологов. Коллаборация между специалистами этих областей является ключевым фактором в успешном борьбе с данным заболеванием. Кроме того, необходимо рекомендовать к стандартизации подход к диагностике и лечению ОВС в клинических протоколах и практических рекомендациях, чтобы повысить эффективность лечения и улучшить результаты для пациентов.

Выявление источника стоматологической инфекции при ХРС представляет собой важную задачу, поскольку патофизиология ОВС и методы его лечения имеют свои особенности, которые отличаются от других форм ХРС. Если стоматологическая причина не устраняется, то лечение, основанное на медикаментах и хирургических вмешательствах, может оказаться неэффективным, и симптомы могут сохраниться.

Клинические проявления ОВС может проявлять разнообразными симптомами: такими как лицевая боль или давление, заложенность носа, гноетечение, неприятный запах или вкус, а также повышенная утомляемость. Особое внимание следует уделять анамнезу пациента. Важно отметить, что при ОВС обычно не наблюдается зубная боль.

При наличии одностороннего ХРС, особенно в области верхнечелюстной кости, необходимо провести комплексное обследование как стоматологом, так и оториноларингологом.

Визуализация околоносовых пазух предоставляет дополнительные данные для установления диагноза и может подтвердить или исключить одонтогенную причину ХРС.

Для более точной диагностики ОВС стоматологи могут применять ортопантограмму (ОПТГ), который считается стандартным методом. ОПТГ предоставляет информацию о пневматизации верхнечелюстных пазух, наличии инородных тел или остатков корней в синусе. Этот метод также может использоваться для отслеживания деструктивных и воспалительных процессов. ОПТГ позволяет врачам получить более детальное представ-

ление о состоянии синусов и принять решение о необходимости проведения дополнительных диагностических или лечебных процедур.

Однако у ОПТГ есть свои ограничения. Во-первых, он может исказить изображение фронтального отдела. Во-вторых, данный метод может выявлять только значительные изменения в зубочелюстной системе и взаимное расположение зубов и верхнечелюстных пазух.

Это особенно важно, если имеется хроническая одонтогенная инфекция, которая близко расположена к пазухе или на корне зуба и распространяется в пазуху. В таких случаях не всегда можно четко установить связь между проблемным зубом и патологическими процессами в верхнечелюстной пазухе. Поэтому, помимо ОПТГ, могут использоваться другие радиологические методы исследования для более точной диагностики ОВС.

В данном контексте, следует отметить, что конусно-лучевая компьютерная томография (КЛКТ) представляет собой более точный метод диагностики ОВС. Метод отличается от ортопантограммы (ОПТГ) высокой точностью и способностью четко разграничивать костные и мягкие ткани, что позволяет более точно определить форму заболевания, объем поражения пазухи и состояние ее костных стенок.

КЛКТ также способна выявлять нарушения целостности костных стенок, такие как связь между зубом и верхнечелюстным синусом.

Необходимо выделить важность совместного использования знаний и навыков врачей различных специальностей. Только при совместной работе стоматолога и оториноларинголога возможно полное устранение инфекционно-воспалительного процесса и предотвращение возможных осложнений и рецидивов заболевания.

Для предотвращения рецидива ОВС необходимо эффективно устранить источник инфекции, выполнив удаление зуба или корня из верхнечелюстной пазухи, а также проведя соответствующее эндодонтическое лечение зуба-источника.

При лечении хронического риносинусита, хирург-стоматолог может рассмотреть возможность применения методов синусотомии, однако следует учитывать, что эти процедуры обычно связаны с более высокой степенью травматичности и возможными осложнениями по сравнению с эндоскопической хирургией.

Использование традиционного метода синусотомии по Колдуэллу-Люку предусматривает полное удаление слизистой оболочки верхнечелюстной пазухи и замену

ее нефункциональной слизистой тканью. Однако, метод может негативно отразиться на физиологии верхнечелюстной пазухи.

Данный метод синусотомии может также вызвать различные осложнения, как во время операции, так и после нее. Возможные осложнения после хирургического вмешательства могут включать в себя кровотечение, повреждение нерва, отечность мягких тканей, дискомфорт и болезненность, а также другие проблемы, включая изменение внешнего вида лица, онемение в зубах, боли в области лица, потерю чувствительности зубов и образование рубцов на стенке синуса.

В традиционном подходе к синусотомии по Колдуэллу-Люку возникают трудности с восстановлением верхней челюсти для ее последующей реабилитации, которую выполняет стоматолог-ортопед.

В качестве альтернативы, функциональная эндоскопическая ринохирургия позволяет с высокой точностью удалять пораженные ткани, полипы и инородные тела через средний или нижний антростому. При этом слизистая оболочка и функция верхнечелюстной пазухи сохраняются.

Однако, в некоторых клинических случаях все же требуется проведение радикальной операции на верхнечелюстных пазухах (ВЧП). Исследование, проведенное Wang и его коллегами, предполагает, что для эффективного лечения ОВС необходим индивидуальный план лечения, сочетающий медикаментозную терапию, стоматологическое вмешательство и эндоскопическую хирургию верхнечелюстных пазух, что является оптимальным подходом для решения проблем придаточных пазух носа. Это означает, что лечение должно быть настроено на учет особенностей каждого конкретного случая.

Следует отметить, что в современной стоматологии уделяется большое внимание минимально инвазивным методам лечения, которые сохраняют максимальную функциональность и эстетику. Одним из таких методов является функциональная эндоскопическая ринохирургия, которая может достичь отличных результатов при лечении заболеваний верхнечелюстных пазух.

Тем не менее, в определенных клинических ситуациях, когда требуется радикальное вмешательство, может рассматриваться классическая синусотомия по Колдуэллу-Люку. В таких случаях важно провести детальное обсуждение всех возможных рисков и преимуществ операции с пациентом, чтобы сделать информированный выбор.

В целом, выбор метода лечения ОВС зависит от множества факторов, таких как характер и степень заболе-

вания, индивидуальные особенности пациента и его предпочтения, а также опыт и мнение врача. Консультация с опытным стоматологом или хирургом поможет определить наилучший подход к лечению в каждом отдельном случае.

Исследование, проведенное Craig и его коллегами, показало отсутствие прямых данных об эффективности пероральных антибиотиков в лечении ОВС. Однако оно также отметило, что у некоторых пациентов несколько курсов пероральных антибактериальных препаратов не приводили к положительным результатам, и им приходилось прибегать к радикальной хирургической интервенции или эндоскопической ринохирургии. Это свидетельствует о том, что применение пероральных антибиотиков в изоляции часто оказывается неэффективным в лечении ОВС.

Стоматологическое лечение для пациентов с выраженными симптомами синусита, с последующей эндоскопической ринохирургией, может способствовать более быстрому разрешению патологического процесса. После проведения адекватного лечения одонтогенной патологии, которая способствует развитию ОВС, рекомендуется следить за пациентами в течение 1–2 месяцев, чтобы контролировать разрешение синусита. В случае санации одонтогенной причины развития ОВС, как удаление зуба, так и резекция верхушки корня после эндодонтического лечения, могут быть эффективными методами.

Исследование, проведенное Wang с соавторами, подтверждает, что оба эти метода демонстрируют схожую эффективность, приводя к значительному улучшению симптомов, результатам назальной эндоскопии и данным компьютерной томографии.

По результатам анализа специализированной литературы можно выделить следующие важные выводы.

Прежде всего, важно отметить, что диагностика ОВС должна быть точной и надежной. Среди различных методов обследования, компьютерная томография с использованием контрастного вещества выделяется как «золотой стандарт». Этот метод обладает высоким разрешением и способностью точно определить характер и объем поражения верхнечелюстной пазухи, а также состояние костных структур. Такая точность в диагностике играет важную роль при выборе оптимального метода лечения.

Следует подчеркнуть, что успешное лечение ОВС требует комплексного подхода и сотрудничества врачей разных медицинских специальностей. В лечении острого верхнечелюстного синусита (ОВС) стоматолог-хирург и оториноларингологи выступают в качестве ключевых

союзников. Их совместные усилия и целостный подход обеспечивают полное устранение инфекционного воспаления и сводят к минимуму вероятность его повторного возникновения.

Успешное лечение ОВС зависит от устранения как стоматологических, так и оториноларингологических причин, которые способствуют его возникновению. В статье выделяется значимость тесного взаимодействия медицинских профессионалов и применения современных диагностических методов для эффективной терапии ОВС. Ключевым аспектом в достижении выздоровления

у пациентов, страдающих от данного недуга, является комплексный и индивидуально адаптированный подход к их лечению и снижение риска рецидивов ОВС.

В заключение, стоит подчеркнуть, что современная медицина акцентирует внимание на интегративном подходе к лечению, учитывая индивидуальные особенности каждого пациента и характер заболевания. Консультация специалистов и разработка индивидуального плана лечения являются фундаментальными элементами успешной борьбы с ОВС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазьев И.Е., Пискунов И.С. Анатомические предпосылки развития одонтогенного верхнечелюстного синусита // *Российская ринология*. — 2017. — Т. 3. — №. 25. — С. 35–41.
2. Иванов Ю.В. Патогенетический подход к профилактике и лечению одонтогенных верхнечелюстных синуситов // автореферат дис. канд. мед. наук. СПб. Гос. мед. ун-т им. ИП Павлова. СПб. — 2007.
3. Сипкин А.М. и др. Верхнечелюстной синусит: современный взгляд на диагностику, лечение и реабилитацию // *Альманах клинической медицины*. — 2013. — №. 28. — С. 82–87.
4. Давыдов Д.В. и др. Одонтогенный верхнечелюстной синусит: особенности диагностики и лечения // *Вестник оториноларингологии*. — 2014. — №. 1. — С. 4–7.
5. Арутюнян К.Э. Лечение больных с осложнениями, связанными с выведением пломбирочного материала в верхнечелюстной синус: дис. — ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт стоматологии», 2005.
6. Гунько В.И., Худайбергенов Г.Г. Использование модифицированной методики антротомии при лечении пациентов с одонтогенным верхнечелюстным синуситом // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*. — 2008. — №. 2. — С. 71–77.
7. Kiyokawa K. et al. Endoscopic maxillary sinus lift without vestibular mucosal incision or bone graft // *Journal of Craniofacial Surgery*. — 2009. — Т. 20. — №. 5. — С. 1462–1467.
8. Алексеева Н.С., Азнабаева Л.Ф., Антонив В.Ф. и др. // *Оториноларингология. Национальное руководство* / под ред. В.Т. Пальчуна. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. 960 с.

© Бетеева Марина Юрьевна (Beteeva95_95@mail.ru); Задеренко Игорь Александрович (igorakis@list.ru);
Бетеева Салима Юрьевна (Beteeva93@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

КЛИНИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ АНАТОМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СОННОЙ АРТЕРИИ ПРИ КАРОТИДНОЙ ЭНДАРТЕРЭКТОМИИ

CLINICAL SIGNIFICANCE OF CAROTID ANATOMIC FEATURES DURING CAROTID ENDARTERECTOMY

**A. Gavrilenko
V. Nikolenko
Li Zhi**

Summary. Objective: By studying the nerves and blood vessels in the region of the carotid bifurcation in cadavers, we provide a morphological and anatomical basis for the safe and effective performance of carotid endarterectomy.

Methods: We selected the available autopsy materials of 20 cases (40 sides) without definite cardiovascular diseases during their lifetime (11 males and 9 females). The anatomical study of the nerves and blood vessels in the carotid bifurcation region was carried out using carotid endarterectomy, and the morphological and structural characteristics of the vessels and the relationship between the nerves and the blood vessels were investigated.

Results: The bifurcation types of the common carotid artery: type I accounts for 12.5 %; type II accounts for 47.5 %; type III accounts for 40 %. carotid bifurcation height: Above the upper edge of the thyroid cartilage: 55 % on the left and 65 % on the right; Parallel to the superior border of the thyroid cartilage: 35 % on the left and 30 % on the right; Below the upper edge of the thyroid cartilage: 10 % on the left side and 5 % on the right side. The inner diameters of the common carotid artery, internal carotid artery and external carotid artery in males are wider than those in females ($P < 0.05$), and the bifurcation angle of the bilateral carotid arteries is also wider in males than in females ($P < 0.05$).

Conclusion: Anatomical measurements of the nerves and vessels at the carotid bifurcation can not only clarify the relationship between the carotid vessels and nerves, but also provide a morphological basis and anatomical foundation for safe and effective carotid endarterectomy.

Keywords: carotid artery, carotid bifurcation, carotid endarterectomy, human anatomy.

Гавриленко Александр Васильевич

Академик РАН, Профессор, д.м.н,
ФГБНУ Российский научный центр хирургии
имени академика Б.В. Петровского, Москва

Николенко Владимир Николаевич

Профессор, д.м.н, ФГАОУ ВО Первый Московский
государственный медицинский университет
имени И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет), Москва

Ли Чжи

Аспирант, ФГАОУ ВО Первый Московский
государственный медицинский университет
имени И.М. Сеченова Минздрава России
(Сеченовский Университет), Москва
li-zhi@mail.ru

Аннотация. Цель: изучить нерв и кровеносные сосуды в области бифуркации сонной артерии у трупов, чтобы обеспечить морфологическую диагностическую и анатомическую основу для безопасного и эффективного выполнения каротидной эндартерэктомии.

Методы: в нашем университете отобрано 20 случаев (40 сторон) аутопсийных материалов с отсутствием ясного сердца и цереброваскулярных заболеваний перед смертью (мужчин 11, женщин 9). Проведено анатомическое исследование нерва и сосудов в области каротидной бифуркации с использованием хирургического доступа каротидной эндартерэктомии, изучены морфо-структурные особенности сосудов, взаимоотношения нерва и сосудов.

Результаты: Типы бифуркации общей сонной артерии: I тип составил 10 %; тип II составил 52,5 %; III тип составил 37,5 %. Высота бифуркации общей сонной артерии: над верхушкой щитовидного хряща: 55 % слева и 62,5 % справа; параллельно верхнему краю щитовидного хряща по верхнему краю: 37,5 % слева и 27,5 % справа; ниже верхнего края щитовидного хряща: слева 7,5 %, справа 10 %. Внутренний диаметр общей, внутренней и наружной сонных артерий самцов был шире, чем у самок ($P < 0,05$), так же как и двусторонний угол бифуркации сонных артерий ($P < 0,05$). Статистически значимой корреляции между внутренними диаметрами общих, внутренних и наружных сонных артерий левой и правой стороны обнаружено не было. Двусторонний угол бифуркации сонных артерий у мужчин был больше, чем у женщин ($P < 0,05$).

Заключение. Данные анатомического измерения нервов и сосудов в области каротидной бифуркации позволяют не только определить взаимоотношения между сосудами шеи и нервами, но и предоставить морфологическое свидетельство и анатомическую основу для безопасного и эффективного выполнения каротидной эндартерэктомии.

Ключевые слова: общая сонная артерия, область каротидной бифуркации, каротидная эндартерэктомия, исследовательская значимость, анатомия.

Острые нарушения мозгового кровообращения, в том числе ишемический инсульт, являются одной из ведущих причин смерти и инвалидности людей во всем мире. Цереброваскулярные заболевания подразделяются на ишемические и геморрагические цереброваскулярные заболевания, причем ишемические цереброваскулярные заболевания составляют от 70 % от общего числа цереброваскулярных заболеваний [1].

Атеросклеротический стеноз сонных артерий является основной причиной ишемической цереброваскулярной болезни [2]. Большое количество исследований показало, что каротидная бифуркация является предрасположенным местом для каротидных атеросклеротических бляшек, среди которых наиболее распространенным является отек в пределах 2 см внутренней сонной артерии вблизи сонной бифуркации, за которой следует общая сонная артерия [3].

В настоящее время каротидная эндартерэктомия клинически признана эффективным методом лечения ишемической цереброваскулярной болезни, вызванной стенозом сонной артерии, и является «золотым стандартом» лечения симптоматического стеноза сонной артерии [4]. Поэтому большое значение имеет дальнейшее изучение анатомических взаимоотношений между нервами и кровеносными сосудами в области каротидной бифуркации для усовершенствования и развития каротидной эндартерэктомии [5,6].

В этой статье 20 образцов трупного черепа без определенных сердечных и цереброваскулярных заболеваний перед смертью были отобраны в анатомической лаборатории для анатомического измерения нервов и кровеносных сосудов в области сонной артерии, чтобы предоставить более надежную информацию для медицинского применения и клинической безопасности. и эффективная каротидная эндартерэктомия. Основные анатомические данные и справочные материалы помогают уменьшить повреждение сосудов и нервов во время операции.

1. Материалы и методы

1.1. Инструменты и образцы

20 вскрытий были образцами анатомии человека, существующими в анатомической лаборатории, в том числе 11 мужчин и 9 женщин, у всех из которых не было ясного сердца и цереброваскулярных заболеваний перед смертью, и все они принадлежали неоплаченным останкам общества.

Исходный канал является открытым и законным, документы и процедуры завершены и прошли проверку соответствующих ведомств, этические и юридические

вопросы и споры отсутствуют. Процесс подготовки образцов является строгим и научным. Перед препарированием препараты не подвергались гниению, промылись большим количеством воды или искусственно отжимались. Измерения морфологических данных проводились с помощью измерительного оборудования в процессе препарирования.

1.2. Метод приготовления головного образца

Сначала череп фиксировался в поперечном направлении, затем для анатомического исследования используется каротидная эндартерэктомия. Косой разрез обычно делается от передней границы грудино-ключично-сосцевидной мышцы на голове пациента. Длина разреза составляет 7–8 см. Затем послойно рассекаются кожа, фасции и мышечные слои образца, до полного обнажения общей сонной артерии, внутренней сонной артерии, наружной сонной артерии и других шейных сосудов. Затем освобождали каждую артерию.

1.3. Показатели наблюдения и методы измерения

Во-первых, наблюдайте за типом и высотой бифуркации общей сонной артерии, наблюдайте за ходом сонных сосудов и сопровождающих их нервов и взаимоотношениями между ними. Во-вторых, измерить угол бифуркации сонной артерии с помощью гониометра; измерить расстояние от плоскости бифуркации сонной артерии до верхнего края щитовидного хряща штангенциркулем и выполнить статистический анализ. Наконец, каждая часть артерии, которая должна быть выбрана, отрезается, и внутренние диаметры рассеченной общей сонной артерии (OCA), внутренней сонной артерии (BCA) и наружной сонной артерии (HCA) соответственно анатомически измеряются с помощью нониуса, как показано на рисунке ниже (Рисунок 1).

1.4 Статистические методы

Статистический анализ приведенных выше показателей анатомических измерений был проведен с использованием IBM SPSS Statistics 24, а количественные данные были описаны как среднее значение \pm стандартное отклонение ($x \pm s$),

Для сравнения и анализа различий вышеперечисленных анатомических показателей между мужчинами и женщинами, левой и правой стороной использовали t-критерий и критерий Хи-квадрат. Когда $P < 0,05$, имеется статистическая значимость.

2. Результаты

2.1. Типы каротидной бифуркации

Из 40 случаев мы разделили их на три группы в зависимости от морфологии бифуркации сонной артерии.

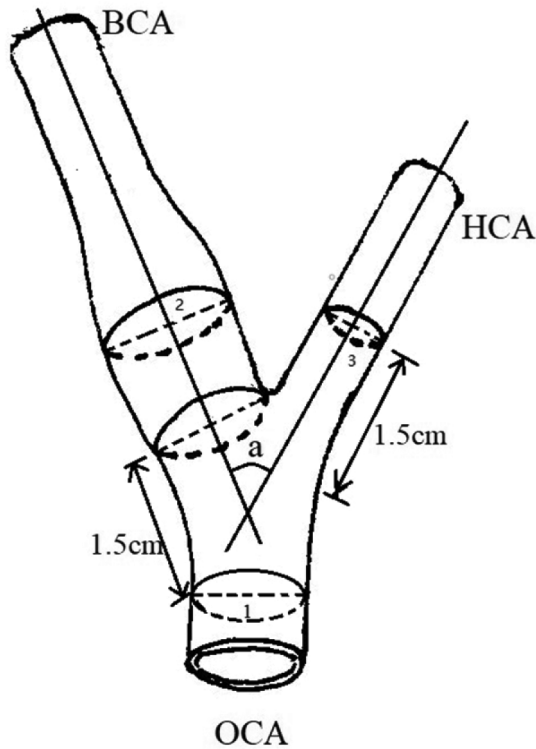


Рис. 1. Анатомия сонной артерии

НСА, наружная сонная артерия; ВСА, внутренняя сонная артерия; ОСА, общая сонная артерия; α — угол между центральной линией наружной и внутренней сонных артерий;
 1. Внутренний диаметр ОСА;
 2. Внутренний диаметр ВСА;
 3. Внутренний диаметр НСА

В сорока случаях патологической извитости сонных артерий не обнаружено [19]. (рис. 2);

Тип А. 12.50 % (Внутренняя сонная артерия не имеет изгиба от своего начала до удвоенной длины каротидного синуса);

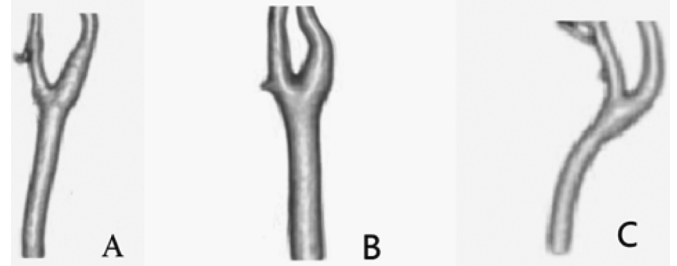


Рис. 2. Схема типов бифуркации сонной артерии

Тип В: 47.50 % (Начинает изгибаться в конце каротидного синуса, при этом сам каротидный синус остается прямым);

Тип С: 40.00 % (Искривление от корня каротидного синуса)

2.2. Высота бифуркации сонной артерии

В настоящем исследовании было установлено, что использование верхнего края щитовидного хряща в качестве базового уровня (Рис. 3). Левая сонная артерия раздваивается, в 55 % случаев располагаясь выше верхней границы щитовидного хряща, в 35 % — у верхней границы щитовидного хряща и в 10 % — ниже верхней границы щитовидного хряща.

Напротив, высота бифуркации правой сонной артерии была различной. Бифуркация правой сонной артерии над верхней границей щитовидного хряща была обнаружена в 65 % случаев. 30 % на той же высоте, что и верхняя граница щитовидного хряща. 5 % — ниже верхней границы щитовидного хряща.

2.3. Различия показателей анатомического измерения различных сосудов в области каротидной бифуркации у мужчин и женщин

Независимо от угла бифуркации сонной артерии или внутреннего диаметра общей сонной артерии, внутрен-

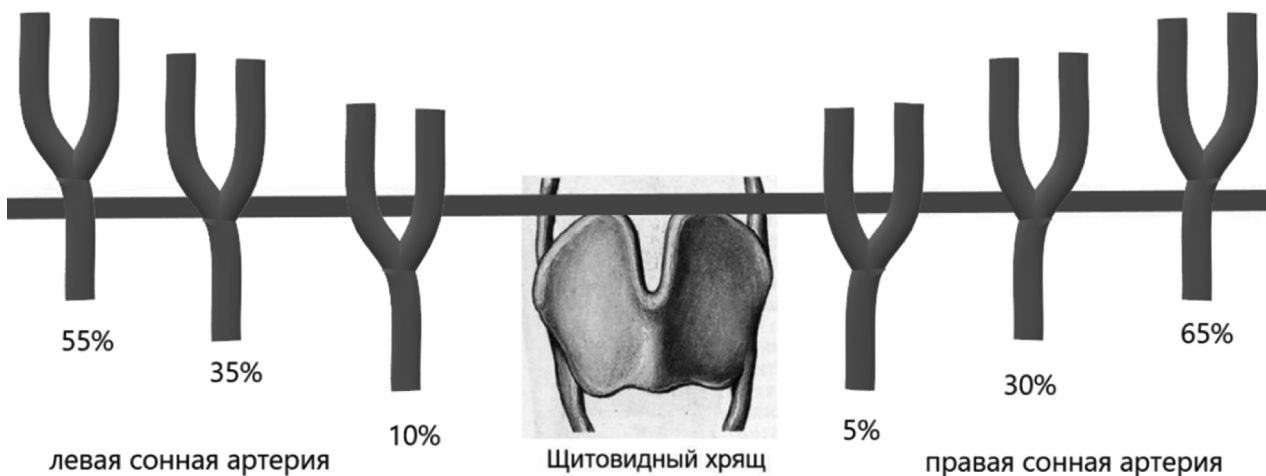


Рис. 3. Схема распределения высоты правой и левой сонных артерий

него диаметра внутренней сонной артерии и внутреннего диаметра наружной сонной артерии между мужчинами и женщинами были значительные различия, $P < 0,05$, что было статистически значимым (табл. 1).

Tab.1.

The differences of internal diameters and angle of common, internal and external carotid arteries between male and female (Mean±SD, mm)

| Group | Case | Inner diameter of CCA | Inner diameter of ICA | Inner diameter of ECA | Angle of CB |
|--------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Male | 11 | 6.93±0.77 | 5.93±0.66 | 4.82±0.81 | 38.19±11.62 |
| Female | 9 | 6.74±0.57 | 5.24±0.44 | 4.57±0.57 | 33.56±12.85 |
| t | | 2.58 | 2.43 | 3.25 | 2.18 |
| P | | <0.05 | <0.05 | <0.05 | <0.05 |

2.4. Различия показателей анатомических измерений сосудов в левой и правой области каротидной бифуркации

На основании сосудистой анатомии 40 областей бифуркации сонных артерий были выявлены значительные различия в углах бифуркации сонных артерий. Углы бифуркации сонных артерий составили $(37,79 \pm 12,66)^\circ$ и $(32,53 \pm 12,83)^\circ$ ($P < 0,05$), соответственно. Разница во внутреннем диаметре общей сонной артерии, внутренней сонной артерии и наружной сонной артерии не была статистически значимой ($P > 0,05$) (табл. 2).

Tab.2.

The differences of internal diameters and angle of common, internal and external carotid arteries between left side and right side (Mean±SD, mm)

| Group | Case | Inner diameter of CCA | Inner diameter of ICA | Inner diameter of ECA | Angle of CB |
|-------|------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|
| Left | 20 | 6.94±0.52 | 5.86±0.65 | 4.76±0.81 | 37.79±12.66 |
| Right | 20 | 6.92±0.48 | 5.82±0.54 | 4.69±0.74 | 32.53±12.83 |
| t | | 2.58 | 2.43 | 3.25 | 2.18 |
| P | | >0.05 | >0.05 | >0.05 | >0.05 |

2.5 Наблюдение за ходом внутренней яремной вены и нерва

Внутреннюю яремную вену можно увидеть при полойном разрезе тканей препарата. Большая его часть прикрыта грудино-ключично-сосцевидной мышцей. Начинается от яремного отверстия у основания черепа, прикрепляется к владалищу сонной артерии и заканчивается подключичной веной у ключицы и грудины. Ветви включают лицевую вену, язычную вену, верхнюю щитовидную вену и среднюю вену, сопровождающие внутреннюю сонную артерию и общую сонную артерию снаружи, а сзади находятся такие ткани, как прямая

мышца головы и шеи и поднимающая лопатку. Блуждающий нерв проходит внутри, а задняя ушная артерия и добавочная артерия. Нерв пересекает внутреннюю яремную вену, перекрывается или отделяется от общей сонной артерии у корня шеи и собирает большую часть венозной крови в области головы и шеи. В процессе отделения фасции и каждого мышечного слоя препарата можно увидеть последовательно:

Большой ушной нерв (проходит медиально у переднего края грудино-ключично-сосцевидной мышцы), поперечный шейный нерв (проходит спереди медиально у переднего края грудино-ключично-сосцевидной мышцы), краевая нижнечелюстная ветвь лицевого нерва и шейная ветвь (проходит у переднего края грудино-ключично-сосцевидной мышцы медиально), подъязычный нерв (под задним брюшком двубрюшной мышцы), блуждающий нерв (преимущественно проходит на заднелатеральной стороне общей сонной-внутренней сонной артерии, небольшая часть проходит на переднемедиальной стороне общей сонной-внутренней сонной артерии), верхний гортанный нерв (в основном идет по задней части сонной артерии, большая часть бифуркации верхнего гортанного нерва находится выше бифуркации сонной артерии, а несколько ниже бифуркации сонной артерии).

Результаты анатомического наблюдения за образцами в этом исследовании согласуются с результатами многих авторитетных движений шеи. В соответствии с исследованиями артериальной анатомии, явных специфических аномальных кровеносных сосудов обнаружено не было.

3. Обсуждение

В большом количестве литературы показано, что атеросклероз сонных артерий является основной причиной ишемической цереброваскулярной болезни, и около 3/4 ишемических цереброваскулярных заболеваний вызваны стенозом сонных артерий [7]. При ишемической цереброваскулярной болезни, вызванной каротидным стенозом, каротидная эндартерэктомия имеет значительный клинический эффект. и может дополнительно предотвращать тяжелые церебральные ишемические события [8].

Однако с ростом клинического применения каротидная эндартерэктомия также выявила множество проблем, часто из-за того, что хирург не понимает анатомии кровеносных сосудов в области сонной артерии или хода нервов, а также взаимоотношений между кровеносными сосудами и их сопутствующими нервы, тем самым вызывая повреждение нервов и кровеносных сосудов или вызывая различные осложнения и другие проблемы [16].

В данной работе исследована сосудисто-нервная анатомия области каротидной бифуркации на черепках 20 трупных образцов. Рассекают слой за слоем от мелко-го к глубокому, и внимательно наблюдают за кровеносными сосудами и нервами в области бифуркации сонной артерии и взаимосвязью между ними, кроме того, выясняется направление кровеносных сосудов и нервов и их соответствующие структурные характеристики, чтобы обеспечить анатомическая основа для лучшей защиты нервов и сосудов во время операции.

Тщательная и полная анатомическая основа кровеносных сосудов и нервов имеет решающее значение для точного предоперационного позиционирования. Каротидная эндартерэктомия берет бифуркацию сонной артерии в качестве центра хирургического разреза. В связи с многочисленностью периферических нервов и их сложным ходом краевые нижнечелюстные и шейные ветви лицевого нерва легко повреждаются во время операции [9]; блуждающий нерв легко растягивается на стороне сонной артерии или даже разрывается [10]; шум в ушах или снижение слуха при поражении большого ушного нерва [11]; Самые высокие показатели интраоперационного повреждения верхнего гортанного нерва и подъязычного нерва составляют 4,5 % [12,13] и 3,7 % [14,15] соответственно.

Возникновение вышеуказанных осложнений значительно увеличит частоту неудач операции, снизит приемлемость каротидной эндартерэктомии пациентами и серьезно повлияет на популярность и развитие операции. Поэтому для каротидной эндартерэктомии особенно важно провести анатомическое исследование нервов и сосудов в области каротидной бифуркации и проанализировать его клиническое значение.

Из результатов этого исследования можно узнать, что бифуркация общей сонной артерии относится к типу прямой изогнутой бифуркации 2 типа, что составляет 47,5 %; Высота бифуркации общей сонной артерии большей частью располагается выше верхнего края щитовидного хряща;

Выявлены достоверные различия внутренних диаметров общей сонной, внутренней сонной и наружной сонных артерий и угла бифуркации сонных артерий между мужчинами и женщинами, $p < 0,05$, причем мужчины крупнее женщин, разница статистически достоверна.

С одной стороны, это может быть связано с большими размерами мужчин по сравнению с женщинами. С дру-

гой стороны, учитывая, что основные энергозатраты мужчин относительно велики, соответственно увеличивается и потребность в кровоснабжении головного мозга. Выводы, сделанные в это исследование в основном согласуются с теми, о которых сообщается в литературе [17,18]. То есть при выполнении каротидной эндартерэктомии у больных с ишемической цереброваскулярной болезнью хирургическая операция должна трактоваться по-разному для пациентов разного пола. У пациенток женского пола следует обращать внимание на размер разреза, который не должен быть слишком большим во избежание повреждения сосудов и периферических нервов.

В то же время было обнаружено, что измерения общей сонной артерии, внутренней сонной артерии и наружной сонной артерии левой и правой сонных артерий не сильно отличаются, $P > 0,05$, что не является статистически значимым. Однако наблюдалась разница в угле бифуркации сонной артерии между левой и правой сторонами, причем угол бифуркации левой стороны был больше, чем правой, при статистически значимой разнице $P < 0,05$. Причина его специфичности должна быть определена в ходе дальнейших исследований.

При послойном вскрытии трупных препаратов мы также можем наблюдать, что взаимоотношения и строение сосудов и нервов относительно сложны и изменчивы, с индивидуальными различиями. Уточнить анатомическое положение нервов и кровеносных сосудов в области бифуркации сонной артерии. Его цель в основном состоит в том, чтобы защитить все виды нервов во время операции. Согласно измеренным значениям в различных исследованиях, соответствующее положение пересечения хода нерва а разрез кожи можно определить как разрез., и все это основано на знакомстве с распределением и ходом нервов и сосудов в области каротидной бифуркации, что дает гарантию каротидной эндартерэктомии.

Таким образом, провести дальнейшее анатомическое исследование нервов и кровеносных сосудов в области бифуркации сонной артерии. Это может обеспечить надежную основу морфологического диагноза и анатомические справочные данные для медицинского применения и клинически более безопасной и эффективной каротидной эндартерэктомии. В свою очередь, это позволяет эффективно избежать травм нервов и сосудов и возникновения различных осложнений во время операции.

ЛИТЕРАТУРА

1. GBD 2019 Ageing Collaborators et al. Global, regional, and national burden of diseases and injuries for adults 70 years and older: systematic analysis for the Global Burden of Disease 2019 Study // *bmj*. — 2022. — Т. 376.
2. Jusufovic M, Skagen K, Krohg-Sørensen K, Skjelland M. Current Medical and Surgical Stroke Prevention Therapies for Patients with Carotid Artery Stenosis. *Curr Neurovasc Res*. 2019;16(1): 96–103. doi: 10.2174/1567202616666190131162811 PMID: 30706783
3. Friedman MH, Deters OJ, Mark FF, et al. Arterial geometry affects hemodynamics. A potential risk factor for atherosclerosis [J] *Atherosclerosis*, 1983, 46(2) : 225–231.
4. Dumont TM, Rughani AI. National trends in carotid artery revascularization surgery [J]. *J Neurosurg*, 2012, 116(6) : 1251–1257.
5. Гавриленко А.В., Сандриков В.А., Скрылев С.И., Галкин П.В., и др. Тактика лечения больных с атеросклеротическим поражением сонных артерий в зависимости от ультразвуковых характеристик бляшки. *Анналы хирургии*, 2001. — N 4. — С.49–56.
6. Гавриленко А.В. и др. Корреляция между морфологическими и биомеханическими особенностями и атеросклерозом сонных артерий // *Наука и инновации в медицине*. — 2022. — Т. 7. — №. 3. — С. 160–163.
7. Zachrisson H, Fouladi M, Blomstrand C, et al. Functional assessment of high — grade ICA stenosis with duplex ultrasound and transcranial Doppler [J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2012, 32(3): 241–246.
8. Leseche G, Alsac JM, Houbalah R, et al. Carotid endarterectomy in the acute phase of stroke-in-evolution is safe and effective in selected patients [J]. *J Vasc Surg*, 2012, 55(3):701–707.
9. Assadian A, Senekowitsch C, Pfaffelmeyer N, et al. Incidence of cranial nerve injuries after carotid eversion endarterectomy with a transverse skin incision under regional anaesthesia [J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2004, 28(4) : 421–424.
10. Kochilas X, Bibas A, Xenellis J, et al. Surgical anatomy of the external branch of the superior laryngeal nerve and its clinical significance in head and neck surgery [J]. *Clin Anat*, 2008, 21(2): 99–105.
11. AbuRahma AF, Choueiri MA. Cranial and cervical nerve injuries after repeat carotid endarterectomy [J]. *J Vasc Surg*, 2000, 32(4): 649–654.
12. Rogers W, Root HD. Cranial nerve injuries after carotid artery endarterectomy [J]. *South Med J*, 1998, 81(8): 1006–1009.
13. Beasley WD, Gibbons CP. Cranial nerve injuries and the retrojugular approach in carotid endarterectomy [J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2008, 90 : 685–688.
14. Barnett HJ, Taylor DW, Eliasziw M, et al. Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators [J]. *N Engl J Med*, 1998, 339(20): 1415–1425.
15. Ferguson GG, Eliasziw M, Barr HW, et al. The North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial: surgical results in 1415 patients [J]. *Stroke*, 1999, 30(9): 1751–1758
16. Beasley W. D., Gibbons C. P. Cranial nerve injuries and the retrojugular approach in carotid endarterectomy // *The Annals of The Royal College of Surgeons of England*. — 2008. — Т. 90. — №. 8. — С. 685–688.
17. Saleh T. M. et al. Estrogen attenuates neuronal excitability in the insular cortex following middle cerebral artery occlusion // *Brain research*. — 2004. — Т. 1018. — №. 1. — С. 119–129.
18. Xue Y. J. et al. Preliminary study of hemodynamic distribution in patient-specific stenotic carotid bifurcation by image-based computational fluid dynamics // *Acta radiologica*. — 2008. — Т. 49. — №. 5. — С. 558–565.
19. Kamide T. et al. Simple classification of carotid bifurcation: is it possible to predict twisted carotid artery during carotid endarterectomy? // *Acta neurochirurgica*. — 2016. — Т. 158. — С. 2393–2397.

© Гавриленко Александр Васильевич; Николенко Владимир Николаевич; Ли Чжи (li-zhi@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ОБЩИЙ ОБЗОР О КЛИНИКЕ И ЛЕЧЕНИИ ГЕНЕРАЛИЗОВАННОЙ ДЕКОМПЕНСИРОВАННОЙ ФОРМЫ ПАТОЛОГИЧЕСКОЙ СТИРАЕМОСТИ

GENERAL REVIEW OF THE CLINICAL PICTURE AND THE TREATMENT OF THE GENERALISED DECOMPENSATED FORM OF PATHOLOGICAL TOOTH WEAR

A. Kurelchuk
O. Irza
S. Severinova
S. Forostyaniy
E. Ovcharenko
O. Neprelyuk

Summary. In our work we examined the forms of pathological tooth wear. We analysed the methods for examining patients with generalised decompensated form of pathological tooth wear and modern methods of treating these patients. We considered the methods for restoring of interalveolar height and the features of orthopedic treatment with this disease. During the treatment of patients with the pathological tooth wear, the dentist takes into account also the gnathological aspects. The articular head movements should be considered to create the correct frontal introduction and as a result achieve harmonious occlusion. It is also important to ensure the constructions did not block the excursion movements of the mandible. The durability of the construction depends on the correct diagnosis and attentive attitude to the occlusion settings. The selection of suitable materials and the establishing correct treatment plan reduce the risks in the long term. New technologies and materials are emerging today, but the principles of the occlusion construction remain unchanged. Ultimately dentist's target is the long-term restoration of the occlusion aesthetics and function of patients with pathological tooth wear.

Keywords: pathological abrasion, interalveolar height, orthopedic treatment, temporomandibular joint, occlusion.

Курельчук Анастасия Евгеньевна

Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, г. Симферополь
kurelchukananskr@gmail.com

Ирза Оксана Леонтьевна

Доцент, кандидат медицинских наук,
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, г. Симферополь
oksanastomat@yandex.ru

Северинова Светлана Константиновна

Доцент, кандидат медицинских наук,
Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, г. Симферополь
severinova_sk@mail.ru

Форостяный Сергей Анатольевич

ассистент, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, г. Симферополь
nik8for@yandex.ru

Овчаренко Елена Николаевна

Доцент, кандидат медицинских наук, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, г. Симферополь
elena-ovcharenko17@rambler.ru

Непрелюк Ольга Анатольевна

Доцент, кандидат медицинских наук, Ордена Трудового Красного Знамени Медицинский институт им. С.И. Георгиевского, г. Симферополь
oneprelyuk@mail.ru

Аннотация. В нашей работе мы рассмотрели формы патологической стираемости. Провели анализ методов обследования больных с патологической стираемостью генерализованной декомпенсированной формы и современные методы лечения этих больных. Рассмотрели методики восстановления межальвеолярной высоты и особенности ортопедического лечения при этом заболевании. Во время лечения пациентов со стираемостью стоматолог учитывает и гнатологические аспекты. Проводится учет движений суставных головок, чтобы в последующем создать правильное фронтальное введение и в результате достигнуть гармоничной окклюзии. Также важно предусмотреть то, чтобы конструкции не блокировали экскурсионные движения нижней челюсти. Долговечность конструкции зависит от правильного диагноза и внимательного отношения к параметрам окклюзии. Выбор подходящих материалов и составление правильного плана лечения снижают риски в долгосрочной перспективе. Сегодня появляются новые технологии и материалы, но принципы построения окклюзии остаются неизменными. В конечном счете, цель стоматолога — долгосрочно восстановить окклюзию, эстетику и функцию пациентов с патологической стираемостью.

Ключевые слова: патологическая стираемость, межальвеолярная высота, ортопедическое лечение, височно-нижнечелюстной сустав, окклюзия.

Стираемость зубов все чаще встречается в современном мире. Стираемость зубов может быть патологической и физиологической. Среди пожилых людей можно часто наблюдать генерализованный износ тканей зубов, который естественным образом сопровождается старением человека. Spijker выявил увеличение стираемости тканей зубов от 3 % до 17 % в возрастном промежутке от 20 до 70 лет соответственно [18]. Результатом исследования было обнаружение прямой связи между стираемостью зубов и возрастом пациента.

Тем не менее, исследования говорят об увеличении количества случаев стираемости среди молодых людей. Износ тканей зуба возрастает от 4 % до 12 % в возрастной группе 16–24 лет и 25–34 лет. Причина стираемости у молодых пациентов — это патология зубочелюстной системы, а не естественное старение. Исследователи обследовали людей 14–24 лет и выявили, в 63 % случаев износа тканей зуба виновата химическая эрозия. Стираемость перестает быть состоянием, характерным только для взрослых пациентов. Признаки истирания отмечаются как у подростков, так и у детей [5]. Патологическая — это та стираемость, которая по объему превышает физиологический износ тканей зуба, характерный для возрастной группы пациента [1].

В прошлом для восстановления стертых поверхностей зуба использовались полные коронки на цементной фиксации. Сегодня стираемость становится проблемой молодых людей и объем препарирования у молодых пациентов необходимо минимизировать. Современные адгезивные материалы не требуют строгой формы для достижения ретенции и дают возможность работать в малоинвазивной технике препарирования. Тем не менее, переднее введение и взаимно-защищенная окклюзия играют большую роль в достижении долгосрочных результатов [11].

Исследования 1984 года Turner и Missirlian привели к выделению трех типов стираемости:

Тип 1 — Стираемость с потерей окклюзионной высоты

Тип 2 — Стираемость без потери окклюзионной высоты, но имеется пространство для восстановления

Тип 3 — Стираемость без потери окклюзионной высоты, пространство для восстановления отсутствует [20]

Многочисленные исследования показали, что жевательные мышцы адаптируются к повышению высоты. Abduo выявил, что повышать окклюзионную высоту позволительно вплоть до 5 мм [6]. Для достижения долгосрочного результата стоматолог в первую очередь придерживается принципов построения окклюзии. Перед тем, как увеличить высоту окклюзии, проводится сбор

анамнеза, выявляется этиология и элиминируются факторы риска.

Эстетика и функция связаны, но пациенты не знают об этом. Wazani провел исследование среди пациентов с патологической стираемостью, и выявил, что внешний вид улыбки беспокоит 59 % пациентов, в то время как функциональные жалобы присутствуют только у 17 % респондентов [21].

Больше всего пациенты хотят исправить вид верхних передних зубов. По-другому эта группа зубов называется «социальная шестерка». Но, прежде чем заняться удовлетворением желаний пациента, стоматолог выявляет функциональную патологию, оценивает вклад в развитие непривлекательного вида «социальной шестерки» [7, 8]. Добиться долгосрочного успеха поможет реконструкция окклюзии жевательной группы зубов вместе с созданием желаемой эстетики переднего отдела.

На Рис. 1а-с показан классический пример пациента, обратившегося к стоматологу исключительно для реставрации верхних передних зубов. Пациент не знает о существующих функциональных нарушениях. Его беспокоит только вид «социальной шестерки». Задача стоматолога в этом случае диагностировать первичную патологию и предоставить пациенту полноценный план лечения.

Этиология патологической стираемости

Пациенты со стираемостью демонстрируют схожие жалобы и клиническую картину. Для стоматолога важно определить причину стираемости, чтобы предупредить дальнейшую деструкцию после окончания лечения. Часто определить причину сложно и их может быть несколько. Стираемость вызывают механические, химические факторы или их комбинация [2]. Причины потери тканей зуба:

1. Атриция (истирание): «механическое стирание тканей зуба в результате парафункции жевательных мышц»
2. Абразия: «аномальное стирание тканей зуба вследствие причин, не связанных с жеванием, например — при агрессивной чистке зубов»
3. Эрозия: «прогрессирующая потеря тканей зуба под воздействием продуктов химической реакции неинфекционного происхождения, дефекты имеют характерную клиновидную впалую форму, расположены на окклюзионных, вестибулярных и пришеечных поверхностях»
4. Абфракция: «патологическая утрата твердых тканей зуба, вызванная дистанцированной нагружающей силой. Механически данная патология объясняется истончением и деградацией эмали и дентина в точках, удаленных на определенное расстояние от точки приложения нагрузки» [9, 16].

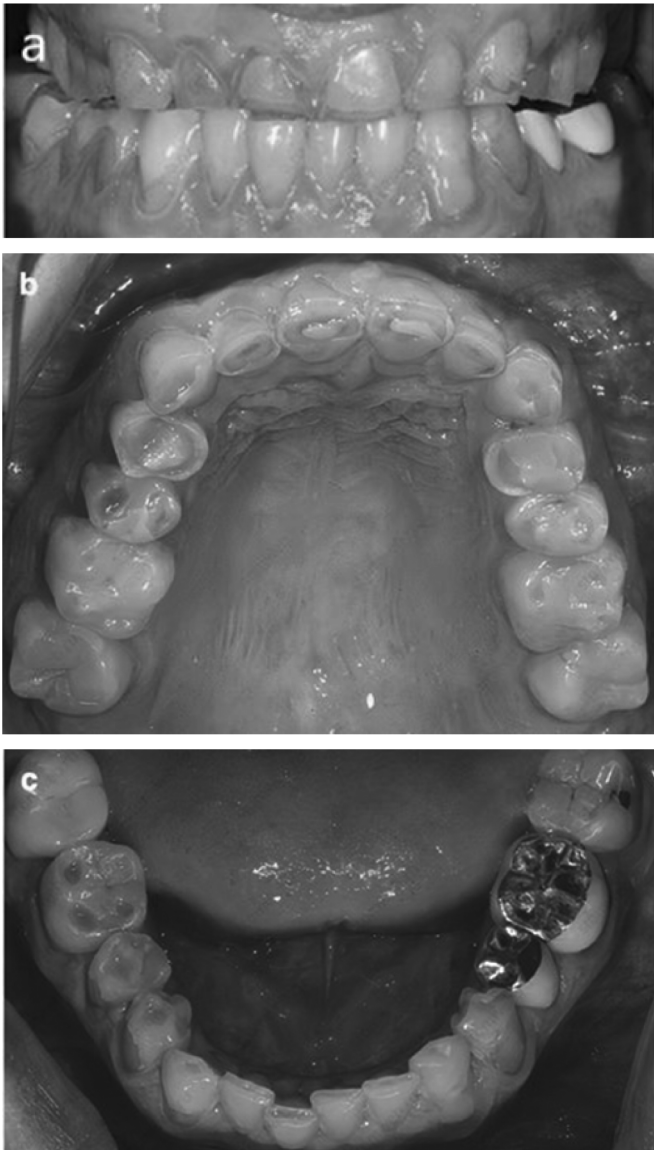


Рис. 1. (а–с) Пациент обратился к стоматологу для эстетической коррекции улыбки. Беспокоят пациента непривлекательный цвет и короткая форма верхних передних зубов. В результате пациент хотел бы получить удлиненные, эстетически привлекательные зубы. Патологическая стираемость в заднем отделе, которая не беспокоит пациента, напрямую связана с изменениями в переднем отделе. Пациент не знает об этой связи, как и о истинных причинах эстетических изменений. Многопрофильный подход к лечению поможет добиться желаемого результата. (а) Максимальное межбугорковое положение. (б) Верхняя челюсть. (с) Нижняя челюсть

С первого взгляда механическое и химическое разрушение тканей зуба выглядят схоже. Однако, выделяется ряд признаков, по которым поражения различаются. Пациенты с механической этиологией дефекта демонстрируют парафункциональные привычки. Также зона стираемости ограничена. Края поражений имеют острую, четко различимую форму, конгруэнтную с дефектами

противоположной зубной дуги. Пациентов не беспокоят болевые ощущения. Чувствительность зубов снижена. Химические эрозии, наоборот, имеют характерную чашеобразную форму с закругленными краями. Такая форма получается в результате продолжительного воздействия кислотосодержащих жидкостей. Участки поражения расположены иррегулярно, и не конгруэнтны с противоположной зубной дугой. Реставрации в таких зубах выглядят словно островки, возвышающиеся над поверхностью зуба. Пациенты предъявляют жалобы на сильную чувствительность. Причины эрозивного поражения — пищевые привычки (частое употребление citrusовых), гастроэзофагеальный рефлюкс (ГЭРБ), или булимия [2].

Диагностика и определение точной причины возникновения поражений крайне важны при лечении пациентов с патологической стираемостью твердых тканей зубов. Исследования выявили, что сильная стираемость преобладает среди мужчин. Это объясняется большими, в сравнении с женщинами, силами жевательных мышц. Раньше возраст пациентов рассматривался в качестве фактора риска, но теперь среди пациентов со стираемостью можно часто встретить молодых людей [12]. Будь то парафункция, агрессивная чистка зубов или пищевые привычки, этиологические факторы должны быть выявлены до начала лечения.

Взаимосвязь окклюзии и эстетики

В 19 веке американский архитектор Sullivan утвердил принцип главенства функции над формой. Такой подход правильно использовать и при восстановлении тканей зубов у пациентов с патологической стираемостью. Гармоничная, взаимно-защищенная окклюзия — основа долгосрочного результата. Взаимно-защищенная окклюзия — это окклюзионная схема, при которой задние зубы препятствуют чрезмерному контакту передних зубов в позиции максимального фиссурно-бугоркового контакта, а передние зубы направляют задний отдел в дезокклюзию при экскурсионных движениях нижней челюсти.

Протезировать необходимо в положении центральной окклюзии при соблюдении правильной окклюзионной высоты и смыкания дистальных зубов в максимальном межбугорковом контакте. Передние зубы конструируются как направляющие, которые во время экскурсионных движений нижней челюсти направляют нижние жевательные зубы в дезокклюзию с верхними жевательными зубами [11]. Такая окклюзионная схема снижает стираемость тканей зуба. В дальнейшем конструкция прослужит дольше.

Нужную высоту нижней трети лица получают при помощи съемных или несъемных конструкций в подго-

товительном периоде лечения. Исследования показали, что несъемные конструкции более адаптивны, чем съемные. Также Abduo выяснил, что повышение высоты нижней трети лица вплоть до 5 мм — безопасно и предсказуемо [6].

Как только пациент начинает комфортно жить в новой окклюзионной высоте и получает удовольствие от нового вида своего лица, стоматолог приступает к созданию постоянных реставраций. Восстановление проводится как композитными материалами, так и керамическими конструкциями. Композиты удобны как материал подготовительного этапа. Для долгосрочной стабильности лучше использовать литийдисиликатные конструкции [9].

Многочисленные научные работы показали, что по причине мягкости, композитные материалы подвержены истиранию. Поэтому для реставрации жевательной группы зубов композитные материалы не рекомендуются. Кроме этого, для композитов характерно гигроскопическое расширение. В результате композитный материал хуже прилегает к тканям зуба [19]. Литийдисиликатная и полевошпатная керамика имеют более высокие показатели эстетики, прочности и прилегания.

Правильная окклюзионная схема и современные материалы делают лечение пациентов с патологической стираемостью предсказуемым, а результат лечения — долговечным.

Клинический протокол лечения пациентов с патологической стираемостью

Для стоматолога оценить состояние пациента и составить правильный план лечения — значит заложить основу долгосрочного результата. Правильно использовать «правило пяти П»: «Правильное планирование предотвращает от плохих протезов». Комплексное планирование эстетики и функцией поможет в будущем избежать сколов керамической конструкции, или, что еще хуже, — заболеваний височно-нижнечелюстного сустава [13].

Полная ортопедическая реабилитация достигается благодаря разделению лечения на четыре этапа:

- Этап I — Диагностика
- Этап II — Подготовительные мероприятия
- Этап III — Постоянное протезирование
- Этап IV — Поддержание результата

Этап I. Диагностика

Первоначальную оценку и составление правильного плана лечения стоматолог проводит прежде, чем приступает к необратимым вмешательствам. Нужно учесть

жалобы пациента и оценить вклад факторов, которые могли бы отразиться на стоматологическом статусе. Правильно диагностированная этиология поможет предотвратить дальнейшее прогрессирование патологии [1].

Некоторые соматические заболевания сопутствуют стираемости зубов. Среди них — гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь, расстройства пищевого поведения, ксеростомия. Правильная диагностика стираемости дает стоматологу корректно восстановить эстетику и функцию зубочелюстной системы и помочь пациенту быстрее обратиться к другим врачам по поводу общесоматического здоровья. Если врач выявляет проблемы в височно-нижнечелюстном суставе, то приступает к их решению в первую очередь. Жалобы пациента на сильные мышечные или суставные боли должны насторожить врача, и отложить плановую стоматологическую реабилитацию. Реабилитация начинается только после устранения болевых симптомов [10, 16].

Высота нижней трети лица определяется при помощи эстетических и фонетических проб. Стоматолог изучает окклюзию пациента в положении максимального фиссурно-бугоркового контакта, а также в положении центрального соотношения. При обследовании правильным решением будет оценить движения нижней челюсти в протрузивном и латеротрузивных направлениях. Стоит отметить блокирующие факторы, чтобы в дальнейшем избежать блокировок на постоянных конструкциях.

После проведенного осмотра и сбора анамнеза, изготавливаются 2 комплекта диагностических моделей. Модели устанавливаются в полуанатомический или анатомический артикулятор с внесением информации лицевой дуги. Модели гипсуются перекрестно в центральном соотношении. Первый комплект моделей остается нетронутым на протяжении лечения. Это требуется для того, чтобы сохранить представление о начальной ситуации в полости рта пациента. Второй комплект моделей используется для диагностического воскового моделирования, которое конструируется на новой окклюзионной высоте по схеме взаимно-защищенной окклюзии. Затем по восковому моделированию создаются временные композитные реставрации [14].

Этап II. Подготовительные мероприятия

Во время первого этапа лечения изготавливаются диагностические модели, в центральном соотношении создается восковое моделирование на новой окклюзионной высоте [14]. Используется схема взаимно-защищенной окклюзии. Исследования показывают, что увеличение окклюзионной высоты более предсказуемо на несъемных конструкциях, чем на съемных. Таким образом, лучше подготавливать пациента к постоянной реставрации на несъемных конструкциях [3].

Временные конструкции необходимы чтобы дать пациенту привыкнуть к новой окклюзионной высоте. Во время этого периода жевательные мышцы получают время для адаптации, удлиняются и со временем расслабляются. Исследования показывают, что за счет растяжения мышц происходит увеличения окклюзионной высоты за 1 месяц. Таким образом, если в течении 1 месяца после установления новой высоты, пациент не имеет жалоб, стоматолог приступает к изготовлению постоянных конструкций [17].

Этап III: Постоянное протезирование

Как только достигается новая окклюзионная высота, которая эстетически устраивает пациента и при которой пациенту комфортно функционировать, стоматолог переходит к этапу изготовления постоянных конструкций. Современные адгезивные технологии дают работать в технике малоинвазивного препарирования. Главная цель малоинвазивного препарирования — сохранение тканей зуба, а не излишнее сошлифовывание для ретенции конструкции, которые бы поддерживали новую окклюзию. После малоинвазивного препарирования керамическая конструкция восстанавливает объем потерянных тканей за счет места, которое было создано в подготовительном этапе лечения [10].

После проведения фиксации керамических конструкций врач делает оттиски обеих челюстей для дальнейшего изготовления защитной капы. Капа защитит новые конструкции и продлит срок их службы [15].

Этап IV: Поддержание результата

Реабилитация патологической стираемости требует времени и денег. Таким образом, благоразумным решением будет изготовление защитной капы, которая сохранит целостность конструкций. Особенно это актуально для пациентов с бруксизмом [15].

Каппа на верхнюю челюсть состоит из внешней твердой и внутренней мягкой частей. Внутренний слой помогает защитить керамику от повреждений, а внешний твердый слой поможет поддержать сбалансированную окклюзию. Окклюзионная каппа изготавливается по принципам взаимно-защищенной окклюзии: равномерное смыкание направляющих бугров жевательных зубов и фронтальное введение. При экскурсионных движениях нижней челюсти передние зубы направляют жевательные зубы так, чтобы получилось размыкание в заднем отделе. Постоянные конструкции сохраняются надолго, если защитная каппа изготавливается по таким принципам [13,14].

Контрольные визиты и корректировка окклюзии

Пациент должен приходить на контрольные визиты каждые полгода. Во время них стоматолог проводит ос-

мотр и профессиональную гигиену. При необходимости делаются рентгенограммы, на которых оценивается прилегание реставраций и возможные повреждения [4].

Во время каждого последующего визита проводится оценка окклюзии. Стоматолог проверяет смыкание в задних отделах и оценивает экскурсионные движения нижней челюсти, выявляет блокирующие факторы. Если присутствует расхождение в смыкании направляющих бугров жевательных зубов, окклюзия корректируется в этот же визит до достижения гармоничного смыкания, которое было создано изначально [9].

Врач просит пациента приносить с собой защитную капу на каждый контрольный визит. Продолжительность ношения капы зависит от того, как она эксплуатируется. Перфорации и разрывы в капе говорят, что ее пора заменить.

В то же время окклюзия на ночных капах корректируется так же, как и в бодрствующем положении. Механически это подразумевает собой равномерное смыкание направляющих бугров жевательных зубов в центральном соотношении, а также взаимно-защищенную окклюзию во время экскурсионных движений. Блокировки движений устраняются. Это требуется, чтобы конструкция интегрировалась в зубочелюстную систему и работала долгосрочно [13].

Заключение

Появление современных технологий и материалов приводит к возникновению новых подходов к лечению больных. Адгезивные протоколы и малоинвазивное препарирование дают стоматологу сохранить объем естественных тканей зуба. Пациенты с патологической стираемостью нуждаются в таком подходе, потому что излишнее препарирование приводит к уменьшению объема тканей зуба, которые и так стирались в процессе развития патологии.

Во время лечения пациентов со стираемостью стоматолог учитывает и гнатологические аспекты. Проводится учет движений суставных головок, чтобы в последующем создать правильное фронтальное введение и в результате достигнуть гармоничной окклюзии. Также важно предусмотреть то, чтобы конструкции не блокировали экскурсионные движения нижней челюсти. Долговечность конструкции зависит от правильного диагноза и внимательного отношения к параметрам окклюзии. Выбор подходящих материалов и составление правильного плана лечения снижают риски в долгосрочной перспективе. Сегодня появляются новые технологии и материалы, но принципы построения окклюзии остаются неизменными. В конечном счете, цель стоматолога — долгосрочно восстановить окклюзию, эстетику и функцию пациентов с патологической стираемостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляева, О.А. Клинико-лабораторное обоснование ранней диагностики и профилактики / О.А. Гуляева, Т.С. Чемикосова, А.Б. Бакиров. — М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2011. — 188 с.
2. Корецкая Екатерина Александровна, Калмин Олег Витальевич, Зюлькина Лариса Алексеевна, Иванов Петр Владимирович Характеристика стираемости твердых тканей зубов (обзор литературы) // Известия вузов. Поволжский регион. Медицинские науки. 2018. №3 (47).
3. Мандра, Ю.В. Экспериментально-клиническое обоснование выбора материалов и метода эстетико-функциональной реставрации зубов при повышенной стираемости / Ю.В. Мандра, Г.И. Ронь, С.Л. Вотяков, Д.В. Киселева // Институт стоматологии. — 2009. — № 1. — С. 96–98.
4. Сараев С.В., Бедокурова С.А., Бедокурова А.А. Ортопедическое лечение патологического стирания органических тканей // Международный журнал гуманитарных и медицинских наук. 2019. №7-1.
5. Халикова, Л.В. Диагностика клинических форм и осложнений генерализованной повышенной стираемости зубов / Л. В. Халикова // Медицинский вестник Башкортостана. — 2014. — Т. 9, № 4. — С. 37–40.
6. Кондрашова Э.А. Сравнительная характеристика изготовления капп при генерализованной патологической стираемости 2 степени. В сборнике: Теоретические и практические аспекты современной медицины. Сборник материалов 95-й Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой десятилетию науки и технологий в России. Симферополь, 2023. С. 201–202.
7. Alani A, Patel M. Clinical issues in occlusion—Part I. Singapore Dent J. 2014;35:31–8.
8. Brugnami F, Caiazzo A, Dibart S. Lingual orthodontics: accelerated realignment of the “social six” with piezocision. Compend Contin Educ Dent. 2013;34(8):608–10.
9. Dietschi D, Argent A. A comprehensive and conservative approach for the restoration of abrasion and erosion. Part II: Clinical procedures and case report. Eur J Esthet Dent. 2011;6(2):142–59.
10. Fradeani M, Barducci G, Bacherini L. Esthetic rehabilitation of a worn dentition with a minimally invasive prosthetic procedure (MIPP). Int J Esthet Dent. 2016;11(1):16–35.
11. Kang, M., Vahidi, F. Occlusal Considerations for Esthetic Rehabilitation. In: Trushkowsky, R. (eds) Esthetic Oral Rehabilitation with Veneers. 2020; 389–410
12. Koc D, Dogan A, Bek B. Effect of gender, facial dimensions, body mass index and type of functional occlusion on bite force. J Appl Oral Sci. 2011;19: 274–279.
13. Mcintyre F. Restoring esthetics and anterior guidance in worn anterior teeth—a conservative multidisciplinary approach. JADA. 2000;131:1279–83.
14. Mehta SB, Banerji S, Millar BJ, Suarez-Feito JM. Current concepts on the management of tooth wear: Part 1. Assessment, treatment planning and strategies for the prevention and the passive management of tooth wear. Br Dent J. 2012;212(1):17–27.
15. Morimoto S, de Sampaio FBW R, Braga MM, Sesma N, Ozcan M. Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: a systematic review and meta-analysis. J Dent Res. 2016;95(9):985–994.
16. Muts EJ, Pelt H, Edelhoff D, Krejci I, Cune M. Tooth wear: a systematic review of treatment options. J Prosthet Dent. 2014;112(4):752–759.
17. Rivera-Morales W, Mohl N. Restoration of the vertical dimension of occlusion in severely worn dentition. Dent Clin N Amer. 1992;36(3):651–64.
18. Spijker AV, Rodrigues JM, Kruegen CM, Bronkhorst EM, Bartlett DW, Creugers NH. Prevalence of tooth wear in adults. Int J Prosthodont. 2009;22(1):35–42.
19. Suzuki S, Nagai E, Taira Y, Minesaki Y. In vitro wear of indirect composite restoratives. J Prosthet Dent. 2002;88:431–436.
20. Turner KA, Missirlian DM. Restoration of the extremely worn dentition. J Prosthet Dent. 1984;52(4):467–74.
21. Wazani BE, Dodd MN, Milosevic A. The signs and symptoms of tooth wear in a referred group of patients. Br Dent J. 2012;213(6):E10.

© Курельчук Анастасия Евгеньевна (kurelchukananskr@gmail.com); Ирза Оксана Леонтьевна (oksanastomat@yandex.ru);
Северинова Светлана Константиновна (severinova_sk@mail.ru); Форостяный Сергей Анатольевич (nik8for@yandex.ru);
Овчаренко Елена Николаевна (elena-ovcharenko17@rambler.ru); Непрелюк Ольга Анатольевна (oneprelyuk@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ АКРОМИАЛЬНО-КЛЮЧИЧНОГО СУСТАВА

MODERN METHODS OF SURGICAL TREATMENT OF ACROMIAL-CLAVICULAR JOINT INJURIES

V. Maslyakov
M. Polidanov
E. Nabieva
A. Tohchukova
P. Babushkina
E. Usacheva

Summary. The acromial-clavicular joint is the connecting link between the clavicle and the scapula and is responsible for the synchronized dynamics of the shoulder girdle. Its injury mechanisms have long been studied and the most effective treatment modalities have been sought. However, to date, the problem of injuries to this joint still remains relevant and remains a common injury. In this regard, the purpose of this literature review is to assess the current views on the problem of acromial-clavicular joint injuries and modern methods of their treatment. The article presents a review of literature sources on surgical treatment of patients with injuries of the acromial-clavicular joint as the results of the study. The known methods of surgical restoration of the anatomy of the acromial-clavicular joint have both advantages and disadvantages. As a consequence, it is worth noting that today the improvement of the operative method of treatment of acromial clavicle end injuries is an urgent problem of modern traumatology. In this connection, further optimization of the existing methods of treatment of acromial clavicle end dislocations taking into account the severity of the ligamentous apparatus damage, biomechanical features of this joint is a promising direction of development of surgery of the supra-arm injuries.

Keywords: acromial-clavicular joint, acromial-clavicular ligament, claviculoclavicular ligament, biomechanism of ligament rupture, modern methods of treatment of acromial-clavicular dislocation.

Масляков Владимир Владимирович

д.м.н., профессор, профессор, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им В.И. Разумовского» Минздрава России;
 д.м.н., профессор, профессор, Саратовский медицинский университет «Реавиз»

Полиданов Максим Андреевич

Лаборант, ФГБОУ ВО Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского Минздрава России;
 Лаборант, Саратовский медицинский университет «Реавиз»
 maksim.polidanoff@yandex.ru

Набиева Эльвира Яшаровна

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России

Тохчукова Амина Мустафаевна

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского» Минздрава России

Бабушкина Полина Александровна

участковая медицинская сестра, ГУЗ «Саратовская государственная клиническая больница №1 им. Ю.Я. Гордеева» Минздрава России

Усачева Екатерина Юрьевна

медицинская сестра, Саратовский областной клинической кожно-венерологический диспансер Минздрава России

Аннотация. Акромиально-ключичный сустав представляет собой связующее звено между ключицей и лопаткой и отвечает за синхронную динамику плечевого пояса. С давних пор изучаются механизмы его травмирования, а также идет поиск наиболее эффективных способов лечения. Однако, на сегодняшний день проблема травм данного соединения всё еще не теряет своей актуальности и остается распространенной травмой. В связи с этим, целью данного литературного обзора является оценка современных взглядов на проблему повреждений акромиально-ключичного сустава и современные методы их лечения. В качестве результатов исследования в статье приведен обзор литературных источников по оперативному лечению больных с повреждениями акромиально-ключичного сочленения. Известные методы оперативного восстановления анатомии акромиально-ключичного сочленения, имеют как свои преимущества, так и недостатки. В следствие этого, стоит отметить, что на сегодняшний день совершенствование оперативного метода лечения повреждений акромиального конца ключицы является актуальной проблемой современной травматологии. В связи с чем, дальнейшая оптимизация существующих методик лечения вывихов акромиального конца ключицы с учетом тяжести повреждения связочного аппарата, биомеханических особенностей данного сочленения является перспективным направлением развития хирургии повреждений надплечья.

Ключевые слова: акромиально-ключичное сочленение, акромиально-ключичная связка, ключично-клювовидная связка, биомеханизм разрыва связок, современные методы хирургического лечения, повреждения акромиально-ключичного сустава.

Введение

Акромиально-ключичный сустав (АКС) представляет собой связующее звено между ключицей и лопаткой, которое отвечает за синхронную динамику плечевого пояса. С давних пор изучаются механизмы его травмирования, а также идет поиск эффективных способов лечения. Даже на сегодняшний день эта проблема не теряет своей актуальности, и вывих акромиально-ключичного (АК) сустава остается распространенной травмой, на долю которой приходится примерно 9 % травм плеча. Намного чаще повреждения АКС встречаются у спортсменов. Повреждения АКС являются актуальной проблемой современной хирургии, травматологии и ортопедии [1–3].

В связи с этим, целью данного литературного обзора является оценка современных взглядов на проблему повреждений АКС и современные методы их лечения.

Материалы и методы исследования

В данном обзоре мы рассмотрели оригинальные статьи, посвященные проблеме повреждений АКС и методам их лечения. Был выполнен поиск в электронных базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, MedLine, Science Direct и eLIBRARY.RU, используя следующие термины: «acroмиально-ключичное сочленение», «травмы», «лечение», «травматология». В результате было отобрано 188 статей на английском, испанском и русском языках, за последние 5 лет, примечательно, что в базе PubMed первые публикации, посвященные проблеме акромиально-ключичного сустава, датируются 1978 годом.

Результаты исследования

В начале, обсудим механизмы повреждения АКС. Среди механизмов повреждения АКС наиболее часто наблюдается прямой механизм, при котором травмирующий фактор воздействует на область акромиона и плечевого сустава в вертикальном направлении сверху вниз [1]. Также достаточно часто фактором травматизации АКС служит падение или удар на задневерхний отдел плечевого пояса. При непрямом механизме повреждения АКС происходит в момент падения на вытянутую руку, либо при сдавлении грудной клетки с боков, которое часто наблюдается при дорожно-транспортных происшествиях. В данном случае направление силы проходит по оси верхней конечности, через головку плечевой кости и суставную поверхность лопатки, вдоль ключицы, и достигает суставной поверхности грудины. Под воздействием травмирующей силы ключица упирается в грудину и за счет прочной грудинно-ключичной связки ключица остается устойчивой, а лопатка, не имеющая такой же прочной опоры, смещается к средней линии.

В результате движения лопатки в медиальном направлении происходит разрыв связочного аппарата АКС и вывих акромиального конца ключицы [1–5].

Лечение поврежденных АКС. Наиболее часто встречающейся методикой оперативных вмешательств при повреждениях АКС является фиксация крючковидной пластиной [6–9], которая обеспечивает фиксацию АКС, что необходимо для репаративной регенерации связок. Однако, при использовании данной методики, у пациентов наблюдается акромиальный остеолит и переломы в области фиксации, в следствие чего была разработана новая методика, заключающаяся в использовании ключичной пластины с двойным крючком [2]. В результате исследования биомеханических свойств данной пластины установлено, что с ее помощью можно восстановить стабильность АКС, эффективно снижая нагрузку на ключицу [2].

Также в литературе описаны методы Босворта и модифицированный Фемистера [19]. Проводилось сравнение внутрисуставных и внесуставных методов фиксации при лечении острых акромиально-ключичных вывихов типа III по Роквуду. При данных вывихах возможны различные методы лечения: от консервативных методов до чрескожной фиксации, жесткой винтовой фиксации к пластинам. При использовании винтов создается сила воздействия, близкая к нативному акромиально-ключичному суставу с интактными клювовидно-ключичными связками. Клинические долгосрочные результаты свидетельствуют о том, что при использовании винтов Bosworth, позволяет добиться адекватной репозиции и аналогичных результатов с точки зрения функции и уровня боли по сравнению с минимально инвазивной фиксацией спицами Киршнера [20]. По сравнению с более новыми методами фиксации, винт Bosworth менее удовлетворял пациентов и вызывал больше неудобств. Кроме того, у всех пациентов с винтом Bosworth для удаления имплантата потребовалось второе хирургическое вмешательство с возможными сопутствующими рисками. При сравнении крючковых пластин с винтом Bosworth можно наблюдать более низкую частоту осложнений и значительно более высокие постоянные баллы, и удовлетворенность пациентов по сравнению с винтом Bosworth. Однако эта разница со временем уменьшилась, согласно долгосрочным исследованиям. Авторы рекомендуют удалять крючкообразную пластину в течение 3 месяцев, чтобы избежать возможного субакромиального импинджмент-синдрома, связанного с пластиной. Что может привести к более низкой послеоперационной боли и частоте осложнений по сравнению с фиксацией с помощью подвесных устройств [21].

При сравнении способов лечения вывиха АКС с использованием аллогенного сухожилия и крючковидных пластин, установлено, что использование аллогенных

сухожилий для реконструкции КК-связок и акромиально-ключичных связок дает отличные результаты с точки зрения восстановления клинической функции или рентгенологических результатов при остром вывихе АКС по сравнению с крючковидной пластиной. Также преимущества заключаются в отсутствии необходимости проведения дополнительной операции для снятия пластины [22, 23]. Также в статье Millett и соавт. описаны преимущества использования аллогенного сухожилия по сравнению с артроскопическим доступом, который позволяет выявить сопутствующие патологии плечевого сустава, связанные с острыми и хроническими повреждениями акромиально-ключичного сустава [20, 24].

В исследовании проведенном Трюдо и соавт. была объяснена стабилизация, обеспечиваемая трапецевидной мышцей АКС во время внутренней и внешней ротации лопатки (протракции и ретракции). Так, трапецевидная травма привела к повышенной нестабильности в условиях внутренней ротации лопатки (протракции) АКС. То есть восстановление трапецевидной вставки на АКС может улучшить результаты в условиях реконструкции АКС [13].

Для динамической стабилизации АКС возможно использование метода, который заключается в остеотомии клювовидного отростка, который позже переносится на нижнюю часть ключицы с присоединенным сросшимся сухожилием. Костный блок фиксируют к ключице с помощью винта с шипованной шайбой. Таким образом, присоединенное сросшееся сухожилие превращается в «депрессор ключицы». Однако данный метод не имеет прямого отношения к патомеханизму травмы АКС, при которой происходит не смещение ключицы вверх, а опускание лопатки, но несмотря на эту проблему, данный метод может использоваться в медицинской практике [11–12].

Иссечение дистальной трети ключицы (процедура Мамфорда) представляет собой решение проблемы болезненного хронического повреждения АКС (I–III степени). Было описано, что остеоартритические изменения в основном ограничиваются повреждениями типа I и типа II, поскольку большее разделение концов костей при повреждениях более высокого класса может предотвратить развитие этого осложнения. Однако во время операции имеется вероятность обнаружения дегенеративных изменений в суставном диске и латеральном конце ключицы, которые могут быть источником боли при травмах высокой степени тяжести. Эта техника должна предусматривать резекцию только 5 мм дистальной трети ключицы, поскольку (при повреждениях АКС I–II степени) трапецевидная связка проходит только на 2,5 см медиальнее дистального конца ключицы, и более широкая резекция может повлиять на место прикрепления трапецевидной связки [11–13].

Метод стабилизации АКС с помощью артроскопической техники впервые был описан в 2001 году G.M. Salzmann и соавт.. Однако данная техника имеет недостатки: возможно возникновение повторяющейся нестабильности АКС в результате миграции имплантата и переломы клювовидного отростка или ключицы. Так, пациенты, которым выполнялась мини-открытая пластика АКС, раньше вернулись к физическим нагрузкам, чем люди, перенесшие артроскопическую операцию [25–28].

Достаточно хороший и долгосрочный результат наблюдается при артроскопическом двухкомпонентном лечении вывиха АКС. Однако рецидив после данной методики лечения все же возможен и, как правило, связан с относительно ранним формированием симптоматического остеоартрита [28–29].

Синтетические материалы, используемые при лечении повреждений АКС. В качестве искусственных связок для лечения хронических вывихов АКС возможно использование многочисленных синтетических материалов, таких как углеродное волокно (политетрафторэтилен и полиэтилентерефталат). Эти материалы призваны обеспечить первичную стабильность и вызвать заживление за счет колонизации фибробластами переплетенных и пористых волокон [29–33]. O, Fracchini и соавт. сообщали, что при использовании синтетического материала Dacron наблюдается высокая частота осложнений (43,3 %), в основном из-за разрыва неолигамента (23,3 %) [12, 33–35]. Отмечаются достаточно хорошие результаты при использовании синтетического материала LARS. Использование сосудистого трансплантата (GorePropaten) показало достойные результаты при хронических вывихах АКС [35].

Аллотрансплантаты и аутооттрансплантаты. Чаще всего для лечения вывихов АКС используется подколенное сухожилие, однако используются также длинная ладонная мышца, лучевой сгибатель запястья, длинная малоберцовая мышца, и сухожилия передней большеберцовой мышцы [35–38]. Сухожильные трансплантаты используются как при острых, так и при хронических вывихах АКС, однако они наиболее эффективны при хронических травмах, поскольку для облегчения заживления необходима биологическая аугментация [40]. Свободные сухожильные трансплантаты обеспечивают превосходную биомеханическую прочность по сравнению с процедурой Weaver-Dunn [41, 42]. Клинические исследования, направленные на восстановление хронических вывихов АКС, дали благоприятные результаты при использовании сухожильных трансплантатов. Выполняя анатомическую реконструкцию с использованием аллотрансплантата передней большеберцовой мышцы или полусухожильного трансплантата, исследователи сообщили о хороших клинических результатах [9]. Тем не менее, авторы проводили ревизии (17,6 %) из-за боли в АКС, инфекций и потери репозиции [10].

Уоо и соавт. описывают метод реконструкции ключично-ключовидной связки (КК-связки) с использованием аллотрансплантата сухожилия посредством артроскопии [11,14]. Выполняется один туннель в области ключовидного отростка и два туннеля в области ключицы. Эти туннели имитируют анатомическое расположение КК-связки. Также добавляется устройство для подвешивания КК-связки и создания первичной стабильности реконструкции. Субакромиальный доступ к основанию ключовидного отростка выполняется в сочетании с процедурой Мамфорда. Описанная Natera-Cisneros L и соавторами техника демонстрирует преимущества минимально инвазивной хирургии, позволяет избежать биомеханических недостатков, связанных с жесткими металлическими аппаратными процедурами, обеспечивает большую биомеханическую устойчивость, минимизируя риск вторичных смещений, связанных с неанатомическими методами, и сочетает первичную механическую стабилизацию и окончательную биологическую стабилизацию, представленную трансплантатом после его интеграции в кость [16].

Jeong J.Y. et al. в 2019 году описали метод реконструкции КК-связок с помощью артроскопии, при которой три костных туннеля были выполнены в нативных местах начала КК-связок. Создавались два туннеля в ключице и один в ключовидном отростке. Авторы утверждают, что формирование только одного туннеля в ключовидном отростке сопряжено с низким риском ятрогенного перелома. Описываемая методика не предполагает использования первичного механического стабилизатора, который защитил бы трансплантат в процессе интеграции в костные туннели. Этот метод артроскопической фиксации КК-связок был разработан для достижения идеальной горизонтальной и вертикальной стабильности, которая может восстановить нативную кинематику КК-связок [15].

Также была разработана реконструктивная техника, которая включает фиксацию сухожильного трансплантата в нативных местах КК-связок. Авторы метода Carofino и Mazzossa предложили субключовидный ход сухожильного трансплантата (без ключовидного туннеля), который в конечном итоге поднимается от ключовидного отростка к ключице. Оба конца трансплантата пересекаются между собой [16–17].

Natera и соавт. описана методика, которая заключается в добавлении устройства для подвешивания КК-связки к анатомической реконструкции связок с помощью сухожильного аллотрансплантата, с целью улучшения механической фиксации и, таким образом, позволяет защитить сухожильный трансплантат во время процесса интеграции в костные туннели и снизить частоту вторичных вертикальных смещений [18].

Заключение

Таким образом, в настоящее время продолжается поиск менее травматичных и малоинвазивных методов лечения повреждений АКС, которые позволяют добиться более полноценному восстановлению функции АКС, быстрой реабилитации и повышению качества жизни пациентов. В настоящем систематическом обзоре хирургического лечения повреждений АКС биологическая фиксация сухожильными трансплантатами продемонстрировала лучшие послеоперационные результаты по сравнению с небиологической фиксацией и трансплантацией связок/сухожилий (например, Weaver-Dunn).

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shukujur-Zade, Je.R. Operativnoe lechenie svezhih vyvihov akromial'nogo konca kljuchicy: diss. kand. med. nauk: 14.00.22 / Je.R. Shukujur-Zade., 2019; 144 p.
2. Shui X. Percutaneous minimally invasive repair of acromioclavicular joint dislocation using cannulated screws under ultrasonic vs. C-arm navigation: A prospective trial. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018; 104 (6): 743–748.
3. Doms P. Current practice in the management of Rockwood type III acromioclavicular joint dislocations-National survey. *J. Orthop. Surg. (Hong Kong).* 2017; 25 (2): 555–568.
4. Jong Pil Yoon, Byoung-Joo Lee, Sang Jin Nam. et al. Comparison of Results between Hook Plate Fixation and Ligament Reconstruction for Acute Unstable Acromioclavicular Joint Dislocation. *Clinics in Orthopedic Surgery.* 2015; 7: 97–103.
5. Narinder K., Vyom Sharma. Hook plate fixation for acute acromioclavicular dislocations without coracoclavicular ligament reconstruction: a functional outcome study in military personnel. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2015; 10: 79–85.
6. Birsel O, Demirhan M. Comment on «Bosworth and modified Phemister techniques revisited. A comparison of intraarticular vs extraarticular fixation methods in the treatment of acute Rockwood type III acromioclavicular dislocations». *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2019; 53 (4): 318–321.
7. Wylie J.D., Johnson J.D., DiVenere J. et al. Shoulder Acromioclavicular and Coracoclavicular Ligament Injuries: Common Problems and Solutions. *Clin Sports Med.* 2018; 37 (2): 197–207.
8. Le Hanneur M., Thoreson A., Delgrande D. et al. Biomechanical comparison of anatomic and extra-anatomic reconstruction techniques using local grafts for chronic instability of the acromioclavicular joint. *Am J Sports Med.* 2018; 46 (8): 1927–1935.

9. Trudeau M.T., Peters J.J., Hawthorne B.C. et al. The Role of the Trapezius in Stabilization of the Acromioclavicular Joint: A Biomechanical Evaluation. *Orthop J Sports Med.* 2022; 10 (9): 23259671221118943.
10. Tiefenboeck T.M., Boesmueller S., Popp D. et al. The use of the LARS system in the treatment of AC joint instability — Long-term results after a mean of 7.4 years. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018; 104 (6): 749–754.
11. Tauber M., Valler D., Lichtenberg S. et al. Arthroscopic Stabilization of Chronic Acromioclavicular Joint Dislocations: Triple— Versus Single-Bundle Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016; 44 (2): 482–9.
12. Natera-Cisneros L., Santiago-Boccolini H., Sarasquete-Reiriz J. Tratamiento de la inestabilidad acromioclavicular crónica [Treatment of chronic acromioclavicular joint instability]. *Acta Ortop Mex.* 2015; 29 (3): 164–171.
13. Jeong J.Y., Yoo Y.S., Lee S.J. et al. Arthroscopic Coracoclavicular Fixation Technique Using Multiple All-Suture Anchors. *Arthrosc Tech.* 2019; 8(4): e423–e427.
14. Abat F., Sarasquete J., Natera L.G., et al. Biomechanical analysis of acromioclavicular joint dislocation repair using coracoclavicular suspension devices in two different configurations. *J Orthop Traumatol.* 2015; 16 (3): 215–219.
15. Wang G., Xie R., Mao T. et al. Treatment of AC dislocation by reconstructing CC and AC ligaments with allogenic tendons compared with hook plates. *J Orthop Surg Res.* 2018; 13 (1): 175.
16. Millett P.J., Warth R.J., Greenspoon J.A. et al. Arthroscopically assisted anatomic coracoclavicular ligament reconstruction technique using coracoclavicular fixation and soft-tissue grafts. *Arthrosc Tech.* 2015; 4(5): e583–e587.
17. Menge T.J., Tahal D.S., Katthagen J.C. et al. Arthroscopic acromioclavicular joint reconstruction using knotless coracoclavicular fixation and soft-tissue anatomic coracoclavicular ligament reconstruction. *Arthrosc Tech.* 2017; 6 (1): e37–e42.
18. Borbas P., Churchill J., Ek E.T. Surgical management of chronic high-grade acromioclavicular joint dislocations: A systematic review. *J Shoulder Elbow Surg.* 2019; 28: 2031–2038.
19. Cisneros L.N., Reiriz J.S. Management of chronic unstable acromioclavicular joint injuries. *J Orthop Traumatol.* 2017; 18 (4): 305–318.
20. Кесян Г.А., Уразгильдеев Р.З., Карапетян Г.С. и соавт. Метод фиксации грудино-ключичного сочленения фигурной пластиной при вывихе стернального конца ключицы. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*, 2018; 17 (4): 52–58.
21. Liu J., Gao Y., Niu B., et al. Biomechanical analysis of a novel clavicular hook plate for the treatment of acromioclavicular joint dislocation: A finite element analysis. *Comput Biol Med.* 2021; 133: 104–379.
22. Faggiani M., Vasario G.P., Mattei L. et al. Comparing mini-open and arthroscopic acromioclavicular joint repair: functional results and return to sport. *Musculoskelet Surg.* 2016; 100: 187–191.
23. Issa S.P., Payan C., Le Hanneur M. et al. Arthroscopically assisted reduction of acute acromioclavicular joint dislocation using a single double-button device: Medium-term clinical and radiological outcomes. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018; 104 (1): 33–38.
24. Lee J., Consigliere P., Fawzy E. et al. Accelerated rehabilitation following reverse total shoulder arthroplasty. *J Shoulder Elbow Surg.* 2021; 30 (9): e545–e557.
25. Kocaoglu B., Ulku T.K., Gereli A. et al. Palmaris longus tendon graft versus modified Weaver-Dunn procedure via dynamic button system for acromioclavicular joint reconstruction in chronic cases. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017; 26 (9): 1546–1552.
26. Hegazy G., Safwat H., Seddik M. et al. Modified Weaver-Dunn procedure versus the use of semitendinosus autogenous tendon graft for acromioclavicular joint reconstruction. *Open Orthop J.* 2016; 10: 166–178.
27. Le Hanneur M., Delgrande D., Lafosse T. et al. Triple-bundle anatomical reconstruction using the coracoacromial ligament and the short head of biceps tendon to stabilize chronic acromioclavicular joint dislocations: a cadaver feasibility study. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018; 104(1): 27–32.
28. Vitali M., Pedretti A., Naim Rodriguez N. et al. Vascular graft employment in the surgical treatment of acute and chronic acromio-clavicular dislocation. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2015; 25(7): 1205–1211.
29. Sinagra Z.P., Kop A., Pabbruwe M. et al. Foreign body reaction associated with artificial LARS ligaments: a retrieval study. *Orthop J Sports Med.* 2018; 6 (12): 2325967118811604.
30. Zhu Y., Hsueh P., Zeng B. et al. A prospective study of coracoclavicular ligament reconstruction with autogenous peroneus longus tendon for acromioclavicular joint dislocations. *J Shoulder Elbow Surg.* 2018; 27 (6): e178–e188.
31. Baran S., Belisle J.G., Granger E.K. et al. Functional and radiographic outcomes after allograft anatomic coracoclavicular ligament reconstruction. *J Orthop Trauma.* 2018; 32 (4): 204–210.
32. Kibler W.B., Sciascia A.D., Morris B.J. et al. Treatment of symptomatic acromioclavicular joint instability by a docking technique: clinical indications, surgical technique, and outcomes. *Arthroscopy.* 2017; 33 (4): 696–708.
33. Hislop P., Sakata K., Ackland D.C. et al. Acromioclavicular joint stabilization: a biomechanical study of bidirectional stability and strength. *Orthop J Sports Med.* 2019; 7 (4): 2325967119836751.
34. Dyrna F.G.E., Imhoff F.B., Voss A. et al. The integrity of the acromioclavicular capsule ensures physiological centering of the acromioclavicular joint under rotational loading. *Am J Sports Med.* 2018; 46 (6): 1432–1440.
35. Dyrna F., Imhoff F.B., Haller B. et al. Primary stability of an acromioclavicular joint repair is affected by the type of additional reconstruction of the acromioclavicular capsule. *Am J Sports Med.* 2018; 46 (14): 3471–3479.
36. Morikawa D., Dyrna F., Cote M.P. et al. Repair of the entire superior acromioclavicular ligament complex best restores posterior translation and rotational stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 27: 3764–3770.
37. Haber D.B., Golijanin P., Stone G.L. et al. Primary acromioclavicular-coracoclavicular reconstruction using 2 allografts, tightrope, and stabilization to the acromion. *Arthrosc Tech.* 2019; 8 (2): 147–152.
38. Hann C., Kraus N., Minkus M. et al. Combined arthroscopically assisted coraco- and acromioclavicular stabilization of acute high-grade acromioclavicular joint separations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 26 (1): 212–220.

39. Vitali M., Pedretti A., Naim Rodriguez N. et al. Vascular graft employment in the surgical treatment of acute and chronic acromio-clavicular dislocation. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2015; 25(7): 1205–1211.
40. Jordan R.W., Malik S., Bentick K. et al. Acromioclavicular joint augmentation at the time of coracoclavicular ligament reconstruction fails to improve functional outcomes despite significantly improved horizontal stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018; 27: 3747–3763.
41. Aliberti G.M., Kraeutler M.J., Trojan J.D. et al. Horizontal instability of the acromioclavicular joint: a systematic review. *Am J Sports Med.* 2019; 48: 504–510.
42. Morikawa D., Mazzocca A.D., Obopilwe E., et al. Reconstruction of the acromioclavicular ligament complex using dermal allograft: a biomechanical analysis. *Arthroscopy.* 2020; 36 (1): 108–115.

© Масляков Владимир Владимирович; Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru); Набиева Эльвира Яшаровна; Тохчукова Амина Мустафаевна; Бабушкина Полина Александровна; Усачева Екатерина Юрьевна
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭНДОВАСКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

HISTORICAL ASPECTS AND CURRENT STATE OF ENDOVASCULAR SURGERY (LITERATURE REVIEW)

L. Mustafayeva
V. Kotelnikova
F. Ablyamitova
G. Azizova
E. Sukasyan

Summary. Endovascular surgery, also known as minimally invasive or catheter-based surgery, has revolutionised the treatment of cardiovascular diseases and other vascular pathologies. The article presents a review of modern domestic and world literature on the history of endovascular surgery, tracing its origins, major milestones and revolutionary achievements. From the pioneering work of Charles Dotter to the development of sophisticated endovascular methods and devices, the evolution of endovascular surgery is marked by innovation, co-operation and relentless pursuit to improve patient outcomes. The most advanced modern directions of the field development are considered, as well as the prospects of their development in the near future are evaluated.

Keywords: endovascular surgery, cardiac interventions, minimally invasive interventions, cardiovascular diseases, interventional cardiology.

Мустафаева Лилия Февзеевна

Ордена Трудового Красного Знамени
Медицинского института имени С.И. Георгиевского
mustafaevall@mail.ru

Котельникова Виктория Эдгарда Александровна

Ордена Трудового Красного Знамени
Медицинского института
имени С.И. Георгиевского
kotelnikova.eda123@gmail.com

Аблямитова Фера Диляверовна

Ордена Трудового Красного Знамени
Медицинского института имени С.И. Георгиевского
ablyamitova_fera@mail.ru

Азизова Гульнара Леноровна

Ордена Трудового Красного Знамени
Медицинского института имени С. И. Георгиевского
gulaazizova5@mail.ru

Сукасян Эдуард Аветисович

Ордена Трудового Красного Знамени
Медицинского института имени С. И. Георгиевского
sukasyan1999@bk.ru

Аннотация. Эндоваскулярная хирургия, также известная как минимально инвазивная или катетерная хирургия, произвела революцию в лечении сердечно-сосудистых заболеваний и других сосудистых патологий. В статье представлен обзор современной отечественной и мировой литературы по истории эндоваскулярной хирургии, прослеживаются ее истоки, основные вехи и революционные достижения. От пионерской работы Чарльза Доттера до разработки сложных эндоваскулярных методов и устройств — эволюция эндоваскулярной хирургии отмечена инновациями, сотрудничеством и неустанным стремлением к улучшению результатов лечения пациентов. Рассматриваются наиболее передовые современные направления развития направления, а также оцениваются перспективы их развития в ближайшем будущем.

Ключевые слова: эндоваскулярная хирургия, вмешательства на сердце, малоинвазивные вмешательства, сердечно-сосудистые заболевания, интервенционная кардиология.

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) остаются одной из ведущих причин заболеваемости и смертности во всем мире, оказывая значительное бремя на системы здравоохранения и общество в целом. Среди множества доступных методов лечения эндоваскулярная кардиохирургия стала преобразующим подходом, предполагающим минимально инвазивные вмешательства с замечательными показателями эффективности и безопасности. Это введение создает основу для изучения эволюции, текущего состояния и будущих направлений развития эндоваскулярных методов в кардиохирургии.

Сердечно-сосудистые заболевания охватывают разнообразный спектр состояний, поражающих сердце и кровеносные сосуды, включая ишемическую болезнь сердца, клапанные болезни сердца и заболевания периферических сосудов. Несмотря на достижения в области профилактики и лечения, ССЗ продолжают наносить тяжелый урон здоровью людей во всем мире, ежегодно приводя к миллионам смертей. По прогнозам, распространенность ССЗ будет расти и дальше из-за старения населения, малоподвижного образа жизни и растущей распространенности таких факторов риска, как ожирение, диабет и гипертония [1, с. 58].

С момента своего возникновения область эндоваскулярной кардиохирургии претерпела значительную эволюцию, обусловленную технологическими инновациями, клиническими исследованиями и междисциплинарным сотрудничеством. От первых дней диагностической ангиографии до сложных транскатетерных вмешательств, доступных сегодня, путь эндоваскулярной хирургии характеризуется постоянным совершенствованием и расширением возможностей [2, с 136].

Минимально инвазивные эндоваскулярные методики обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционной хирургией открытого сердца, что делает их все более привлекательными для пациентов и клиницистов. Среди этих преимуществ — меньшая травматизация окружающих тканей, более короткое пребывание в больнице, более быстрое восстановление и более низкий уровень осложнений, таких как инфекции и кровотечения. Кроме того, эндоваскулярные процедуры часто позволяют обойтись без стернотомии или сердечно-легочного шунтирования, что еще больше минимизирует периоперационные риски.

В последние годы несколько революционных достижений вывели эндоваскулярную кардиохирургию на передний план в лечении сердечно-сосудистых заболеваний. Транскатетерная замена аортального клапана (TAVR), чрескожное коронарное вмешательство (PCI) с использованием стентов с лекарственным покрытием и структурные вмешательства на сердце, такие как транскатетерное восстановление митрального клапана, служат примером преобразующего потенциала эндоваскулярных методов. Эти процедуры предлагают жизнеспособную альтернативу хирургическому вмешательству для пациентов с высоким риском и расширяют арсенал лечения сложных сердечно-сосудистых патологий [3, с. 3188].

Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в эндоваскулярной кардиохирургии, сохраняется ряд проблем, начиная от технических сложностей и заканчивая критериями отбора пациентов и соображениями системы здравоохранения. Достижение оптимальных результатов требует тонкого понимания анатомии пациента, характеристик поражения и процедурных нюансов, что подчеркивает важность опыта оператора и междисциплинарного сотрудничества. Кроме того, вопросы, связанные с долговечностью устройства, долгосрочной эффективностью и рентабельностью, требуют постоянных исследований и инноваций.

История эндоваскулярной хирургии

Корни эндоваскулярной хирургии уходят в середину XX века, когда радиологи начали изучать катетерные подходы к диагностической ангиографии. В 1964 году

Чарльз Доттер, радиолог из Орегонского университета здравоохранения, впервые выполнил чрескожную транслюминальную ангиопластику (ЧТА) для расширения суженной бедренной артерии с помощью катетера и баллона, направляемого проволокой. Эта новаторская процедура заложила основу для эндоваскулярных вмешательств и принесла Доттеру титул «отца интервенционной радиологии» [4, с.166]. На протяжении 1970-х и 1980-х годов были достигнуты значительные успехи в области эндоваскулярных методик и технологий. В 1977 году Андреас Грюнциг представил баллонную ангиопластику для лечения ишемической болезни сердца, положив начало новой эре в лечении ишемической болезни сердца. Последующие усовершенствования конструкции баллонов, систем доставки катетеров и методов визуализации привели к улучшению показателей успешности процедур и расширению сферы применения эндоваскулярных вмешательств. В 1990-х годах появились специальные эндоваскулярные устройства, разработанные специально для сосудистых вмешательств. Появление саморасширяющихся нитиноловых стентов Хулио Пальмаза и Ричарда Шатца в 1990 году произвело революцию в лечении стеноза артерий, обеспечив механическую поддержку и снизив риск отдачи сосуда и рестеноза. Стенты с лекарственной элюминацией, покрытые антипролиферативными агентами, еще больше улучшили долгосрочные результаты, подавляя неоинтимальную гиперплазию и снижая частоту процедур реваскуляризации [5, с. 686]. Помимо коронарной и периферической ангиопластики, эндоваскулярные методы успешно применяются для лечения широкого спектра сосудистых заболеваний, включая аневризмы аорты, заболевания сонных артерий и венозную тромбоэмболию. Транскатетерная замена аортального клапана (TAVR), впервые предложенная Аленом Кривье и его коллегами в 2002 году, представляет собой революционный подход к лечению аортального стеноза у пациентов с высоким риском хирургического вмешательства. Аналогичным образом, эндоваскулярное восстановление аневризмы (EVAR) стало стандартом лечения отдельных пациентов с аневризмами брюшной аорты, обеспечивая снижение заболеваемости и смертности по сравнению с открытым хирургическим вмешательством [6, с. 108].

Современные достижения в эндоваскулярной хирургии

Транскатетерные вмешательства произвели революцию в лечении структурных заболеваний сердца, обеспечив менее инвазивные альтернативы открытым хирургическим процедурам. Транскатетерная замена аортального клапана (TAVR) стала преобразующей терапией для пациентов с тяжелым аортальным стенозом, которые подвержены высокому риску хирургического вмешательства. Аналогичным образом, транскатетерные методы восстановления митрального клапана, та-

кие как система MitraClip, предлагают эффективное решение проблемы митральной регургитации у отдельных пациентов. Текущие исследования направлены на расширение возможностей применения транскатетерных вмешательств при других структурных заболеваниях сердца, включая болезни трехстворчатого клапана и врожденные пороки сердца [6, с. 110].

Методы чрескожного коронарного вмешательства (ЧКВ) продолжают развиваться благодаря внедрению передовых устройств и методов визуализации. Стенты с лекарственной элюминацией, покрытые антипролиферативными агентами, значительно снизили частоту рестенозов и повторных процедур реваскуляризации. Биорезорбируемые скаффолды нового поколения обещают обеспечить временную поддержку коронарных артерий, способствуя при этом долгосрочному заживлению и функционированию сосудов. Кроме того, технологии внутрисосудистой визуализации, такие как оптическая когерентная томография (ОКТ) и внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ), позволяют точно оценить коронарные поражения и оптимизировать установку стентов [7, с. 397].

Эндоваскулярные методы играют центральную роль в лечении заболеваний периферических артерий (PAD), предлагая минимально инвазивные варианты реваскуляризации и спасения конечностей. Чрескожная транслюминальная ангиопластика (ЧТА) с использованием баллонов с лекарственным покрытием продемонстрировала эффективность в улучшении показателей проходимости и снижении необходимости повторных вмешательств у пациентов с бедренно-поплитеальными поражениями. Инфрапротезные вмешательства, включая ангиопластику и стентирование, все чаще используются для лечения критической ишемии конечностей, особенно у пациентов, не подходящих для хирургического шунтирования [8, с. 313].

Достижения в области робототехники и навигационных систем повысили точность и безопасность эндоваскулярных процедур. Роботизированная манипуляция катетером позволяет более ловко перемещаться в сосудистом русле, снижая лучевую нагрузку и улучшая результаты процедур. Кроме того, навигационные системы, использующие дополненную реальность, обеспечивают руководство в режиме реального времени, повышая уверенность оператора и эффективность сложных вмешательств.

Перспективы развития эндоваскулярной хирургии

Будущее эндоваскулярной кардиохирургии открывает огромные перспективы благодаря достижениям в области технологий, биомедицинской инженерии и трансляционных исследований. Биорезорбируемые

скаффолды, системы доставки лекарств на основе нанотехнологий и планирование процедур на основе искусственного интеллекта — вот лишь несколько примеров инновационных решений, которые ожидают нас в ближайшем будущем. Более того, интеграция телемедицины, дистанционного мониторинга и подходов персонализированной медицины, вероятно, изменит ландшафт сердечно-сосудистой помощи, повысив ее доступность и оптимизировав результаты. Будущее эндоваскулярной хирургии открывает захватывающие перспективы, обусловленные постоянными исследованиями и технологическими инновациями.

Искусственный интеллект (ИИ) способен произвести революцию в эндоваскулярной хирургии, улучшив планирование процедур, принятие решений и результаты. Алгоритмы машинного обучения могут анализировать огромные объемы данных о пациентах, визуализационных исследований и процедурных переменных для прогнозирования оптимальных стратегий лечения и определения персонализированных подходов для отдельных пациентов. Кроме того, инструменты анализа изображений на основе ИИ могут помочь в навигации в реальном времени, определении характеристик поражения и выборе устройств во время эндоваскулярных процедур, повышая точность и эффективность.

Роботизированные вмешательства будут играть все более заметную роль в эндоваскулярной хирургии, обеспечивая повышенную точность, ловкость и контроль во время процедур. Роботизированные системы позволяют дистанционно манипулировать катетерами, направляемыми проводами и устройствами в сосудистой системе, снижая усталость оператора и лучевую нагрузку, улучшая результаты процедур. Более того, достижения в технологии тактильной обратной связи позволяют операторам ощущать характеристики тканей и свойства сосудов, что еще больше повышает безопасность и эффективность процедур [9, с. 436].

Биоинженерные материалы и тканевая инженерия открывают перспективы для разработки новых имплантатов, эшафотов и устройств для эндоваскулярного применения. Биорезорбируемые скаффолды, изготовленные из биосовместимых полимеров, могут обеспечить временную структурную поддержку кровеносных сосудов, способствуя при этом естественному заживлению и ремоделированию. Аналогичным образом, тканеинженерные сосудистые трансплантаты, полученные из аутологических клеток, предлагают регенеративный подход к реконструкции сосудов, сводя к минимуму риск отторжения и тромбоза. Эти биоинженерные решения способны произвести революцию в лечении сосудистых заболеваний, обеспечив долговечные, биосовместимые альтернативы традиционным имплантатам.

Целевые системы доставки лекарств предлагают персонализированный подход к лечению сосудистых заболеваний, доставляя терапевтические агенты непосредственно к больным тканям и сводя к минимуму системные побочные эффекты. Носители лекарств на основе наночастиц могут быть разработаны таким образом, чтобы инкапсулировать и контролируемо высвобождать их в сосудистом русле, снижая риск рестеноза, тромбоза и воспаления. Кроме того, методы генной терапии позволяют целенаправленно доставлять терапевтические гены для содействия регенерации и восстановлению сосудов, предлагая потенциальные решения для лечения атеросклероза, аневризмы и других сосудистых патологий [10, с. 1440].

Технологии дистанционного мониторинга и телемедицинские платформы трансформируют оказание эндоваскулярной помощи, позволяя осуществлять дистанционный мониторинг пациентов, виртуальные консультации и телепротоколы процедур. Имплантируемые устройства, оснащенные датчиками, могут в режиме реального времени передавать медицинским работникам данные о сосудистой гемодинамике, проходимости

трансплантата и работе устройства, что позволяет выявлять осложнения на ранних стадиях и своевременно проводить вмешательство. Телемедицинские платформы облегчают виртуальные последующие визиты, обучение пациентов и междисциплинарное сотрудничество, улучшая доступ пациентов к специализированной помощи и сокращая неравенство в здравоохранении.

В заключение следует отметить, что современные достижения эндоваскулярной кардиохирургии произвели революцию в лечении сердечно-сосудистых заболеваний, предлагая менее инвазивные, более эффективные и все более персонализированные вмешательства. Благодаря инновациям, сотрудничеству и стремлению к совершенству, эта область способна удовлетворить растущие потребности пациентов и улучшить результаты лечения сердечно-сосудистых заболеваний в ближайшие годы. В этой научной статье мы подробно рассмотрим историю, современную практику и будущие перспективы эндоваскулярной кардиохирургии, проливая свет на ее преобразующее влияние на сердечно-сосудистую помощь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушенко В.А., Иркиенко Е.К. Сердечно-сосудистая заболеваемость — одна из важнейших проблем здравоохранения // Медицина и организация здравоохранения. 2019. №1. С. 56–63.
2. Kamal, H., Fine, E.J., Shakibajahromi, B., & Mowla, A. A history of the path towards imaging of the brain: From skull radiography through cerebral angiography. *Current journal of neurology*. 2020. №19(3), P. 131–137.
3. Malik, P., Anwar, A., Patel, R., & Patel, U. Expansion of the dimensions in the current management of acute ischemic stroke. *Journal of neurology*. 2021. №268(9). P. 3185–3202.
4. Barnwell S.L. Interventional neuroradiology. *The Western journal of medicine*. 1993. №158(2). P. 162–170.
5. Maleckis, K., Anttila, E., Aylward, P., Poulson, W., Desyatova, A., MacTaggart, J., & Kamenskiy, A. Nitinol Stents in the Femoropopliteal Artery: A Mechanical Perspective on Material, Design, and Performance. *Annals of biomedical engineering*. 2018. №46(5), P. 684–704.
6. Хавандеев М.Л., Лищук А.Н., Ерошенко С.С., Колтунов А.Н., Иванов Д.В. Транскатетерная замена аортального клапана (TAVR) как метод выбора лечения тяжёлого аортального стеноза у пациентов с низким хирургическим риском оперативного вмешательства вместо хирургической замены аортального клапана (SAVR) (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2020. №5. С. 108–118.
7. Кодасбаев А.Т., Сахов О.С., Кулимет М.Б. Применение внутрисосудистого ультразвукового исследования в интервенционной кардиологии // Вестник КазНМУ. 2018. №3. С. 396–398.
8. Гаиров А.Д., Неъматзода О., Рахмонов Д.К., Давлатов Р.К., Калмыков Еган Л. Эндоваскулярные методы реканализации в лечении хронической ишемии нижних конечностей: современное состояние проблемы // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И.П. Павлова. 2023. №2. С. 305–317.
9. Ning, S., Chautems, C., Kim, Y., Rice, H., Hanning, U., Al Kasab, S., Meyer, L., Psychogios, M., Zaidat, O.O., Hassan, A.E., Masoud, H.E., Mujanovic, A., Kaesmacher, J., Dhillon, P.S., Ma, A., Kaliaev, A., Nguyen, T.N., & Abdalkader, M. Robotic Interventional Neuroradiology: Progress, Challenges, and Future Prospects. *Seminars in neurology*. 2023. №43(3), P. 432–438.
10. Ashique, S., Sandhu, N.K., Chawla, V., & Chawla, P.A. Targeted Drug Delivery: Trends and Perspectives. *Current drug delivery*. 2021. №18(10). P. 1435–1455.

© ЗМустафаева Лилия Февзеевна (mustafaevall@mail.ru); Котельникова Виктория Эдгарда Александровна (kotelnikova.eda123@gmail.com);

Аблямитова Фера Диялверовна (ablyamitova_fera@mail.ru); Азизова Гульнара Леноровна (gulaazizova5@mail.ru);

Сукасян Эдуард Аветисович (sukasyan1999@bk.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ПАТОЛОГИЯ ПОЧЕК ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ 1 ТИПА (ДИАБЕТИЧЕСКАЯ НЕФРОПАТИЯ)

KIDNEY PATHOLOGY IN TYPE 1 DIABETES MELLITUS (DIABETIC NEPHROPATHY)

B. Pavlov
E. Goncharova
I. Kuziev
K. Mosolkova
A. Skobeleva

Summary. Kidney pathology in type 1 diabetes mellitus is a serious complication that can lead to chronic renal failure and require dialysis or kidney transplantation. To prevent the development of this problem, it is very important to diagnose it in a timely manner and carry out appropriate treatment. The study showed that over time, the number of cases of patients with type 1 and type 2 diabetes mellitus with kidney damage and a diagnosis of diabetic nephropathy with renal insufficiency and renal syndrome increased. Mortality from type 1 diabetes mellitus with renal insufficiency and a diagnosis of diabetic nephropathy has also increased. This indicates the need to take more effective measures for the prevention and treatment of kidney pathology in diabetes mellitus. Analysis of laboratory data showed that patients with type 1 and type 2 diabetes mellitus showed pronounced signs of renal failure with a diagnosis of diabetic nephropathy. This confirms the seriousness of the problem and the need for early diagnosis and treatment of this complication. As a result, the results of the study confirm the growth of kidney pathology in diabetic nephropathy, especially in type 1 diabetes mellitus. This is caused by various factors, including an unhealthy lifestyle, increased consumption of sugar and salt, unstable blood glucose control and the presence of bad habits. To prevent the development of kidney pathology, it is important to take measures to control blood glucose levels, proper nutrition, an active lifestyle and regular medical supervision.

Keywords: diabetic nephropathy, diabetes mellitus, kidney pathology in diabetes mellitus, renal complications of diabetes mellitus, acute and chronic complications of diabetes mellitus.

Павлов Богдан Владимирович

Ассистент, врач-эндокринолог, нутрициолог,
ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет
имени Г.Р. Державина
DewollS@yandex.ru

Гончарова Евгения Сергеевна

ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет
имени Г.Р. Державина
ev.gon17@gmail.com

Кузиев Иброхимджон Джохонбекович

ФГБОУ ВО Тамбовский Государственный Университет
имени Г.Р. Державина
kuzievibrohim@gmail.com

Мосолкова Кристина Владимировна

Ассистент, врач-терапевт, ФГБОУ ВО Тамбовский
Государственный Университет имени Г.Р. Державина
kristina.kuzntzova2010@yandex.ru

Скобелева Анна Александровна

Ассистент, врач-терапевт, ФГБОУ ВО Тамбовский
Государственный Университет имени Г.Р. Державина
sheine17@yandex.ru

Аннотация. Патология почек при сахарном диабете 1 типа является серьезным осложнением, которое может привести к хронической почечной недостаточности и потребовать проведения диализа или трансплантации почки. Чтобы предотвратить развитие этой проблемы, очень важно своевременно диагностировать ее и провести соответствующее лечение. Исследование показало, что со временем увеличилось число случаев обращения пациентов с сахарным диабетом 1-го и 2-го типов с поражением почек и диагнозом диабетической нефропатии с почечной недостаточностью и почечным синдромом. Также возросла смертность от сахарного диабета 1 типа с почечной недостаточностью и диагнозом диабетической нефропатии. Это указывает на необходимость принятия более эффективных мер по профилактике и лечению патологии почек при сахарном диабете. Анализ лабораторных данных показал, что у пациентов с сахарным диабетом 1-го и 2-го типов наблюдались выраженные признаки почечной недостаточности с диагнозом диабетическая нефропатия. Это подтверждает серьезность проблемы и необходимость ранней диагностики и лечения данного осложнения. В результате исследования подтверждается рост патологии почек при диабетической нефропатии, особенно при сахарном диабете 1 типа. Это вызвано различными факторами, в том числе нездоровым образом жизни, повышенным потреблением сахара и соли, нестабильным контролем уровня глюкозы в крови и наличием вредных привычек. Чтобы предотвратить развитие патологии почек, важно принимать меры по контролю уровня глюкозы в крови, правильному питанию, активному образу жизни и регулярному наблюдению у врача.

Ключевые слова: диабетическая нефропатия, сахарный диабет, патология почек при сахарном диабете, почечные осложнения сахарного диабета, острые и хронические осложнения сахарного диабета.

Патология почек при сахарном диабете 1 типа является серьезной и широко распространенной проблемой, возникающей из-за хронического воздействия высокого уровня глюкозы в крови на почечные структуры [1–2]. Сахарный диабет 1 типа характеризуется аутоиммунным разрушением клеток поджелудочной железы, приводящим к дефициту инсулина [3–4]. В то же время повышенный уровень глюкозы в крови вызывает различные патологические изменения в организме, в том числе поражение почек. Почки играют важную роль в организме, очищая кровь от токсинов и лишней жидкости, поддерживая стабильность внутренней среды. Однако при сахарном диабете 1 типа почки могут стать жертвой повышенного уровня глюкозы в крови, что приводит к развитию патологии. Прогрессирующее повреждение почечных тканей при сахарном диабете 1 типа называется диабетической нефропатией [5–6].

Нефропатия, вызванная сахарным диабетом, представляет собой одно из наиболее распространенных микрососудистых осложнений этого заболевания. При сахарном диабете первого типа она встречается у трети пациентов, в то время как при втором типе диабета ее проявления наблюдаются у четверти больных. Заболевание обычно проявляется через 10–15 лет после постановки диагноза второго типа диабета и через 20–40 лет после начала первого типа. Нефропатия является основной причиной развития крайней стадии почечной недостаточности [7–9].

Пациенты с сахарным диабетом 1 типа имеют значительно повышенный риск развития нефропатии, особенно при недостаточном контроле уровня глюкозы в крови, артериальной гипертензии, клубочковой гиперфилтрации и протеинурии [10]. Гипергликемия способствует нарушению фильтрационной функции почек, что приводит к утомлению клубочковой структуры и последующей пролиферации мезангиальных клеток [11–14]. Артериальная гипертензия усиливает воздействие глюкозы на почки, усугубляя повреждение сосудистого русла почечных артерий и капилляров [15]. Клубочковая гиперфилтрация и протеинурия являются ранними признаками диабетической нефропатии, сопровождающимися нарушением клубочковой фильтрации и выведения белка с мочой [16].

Пациенты с сахарным диабетом 1 типа часто не осознают проблему патологии почек до появления серьезных клинических проявлений, ведь она часто протекает без выраженных симптомов на ранних стадиях, что затрудняет своевременное выявление и лечение этого осложнения. Проявления диабетической нефропатии включают: отеки, гипертонию, потерю белка с мочой, ухудшение функции почек, что в конечном итоге может привести к хронической почечной недостаточности и потребовать диализа или трансплантации почки [17].

Цель: провести оценку и анализ собранной информации, связанной с динамикой развития почечной недостаточности при диабетической нефропатии у пациентов, страдающих от сахарного диабета первого и второго типа.

Методы и материалы исследования

В исследовании принимали участие жители Тамбовской области, больные сахарным диабетом 1 типа в возрасте 27–33 лет и больные сахарным диабетом 2 типа в возрасте 62–69 лет. Исследование проводилось на базе ТОГБУЗ «ГКБ им Бабенко».

Было проведено обследование 7271 пациентов с сахарным диабетом, из них с диабетической нефропатией было зафиксировано 1789 женщин и 1236 мужчин.

На момент проведения исследования испытуемые имели подтвержденный диагноз «диабетическая нефропатия с почечной недостаточностью и нефротическим синдромом».

Был проведен сбор статистических и лабораторных данных и их обработка. Использовалась статистическая обработка данных в программе SPSS Statistics 26, функции t-критерий Стьюдента.

Учитывались показатели лабораторных данных: экскреции альбумина (микроальбинурия), СКФ (скорость клубочковой фильтрации), протеинурия, уровень глюкозы в крови, креатин, гликированный гемоглобин, глюкозурия в моче, высокий Na/Li (противотранспорт в эритроцитах), также наблюдалась гематурия, цилиндрурия, гиперазотемия, показатели динамики смертности с 2019 по 2021 год по Тамбовской области.

Результаты исследования

Наблюдение проводилось на протяжении 3 месяцев (Январь — март 2022 г.). При проведении анализа клинических исследований были выявлены различия в результатах лабораторных исследований больных и нормальных показателей. В таблице 1 указаны основные характеристики лабораторных исследований: название лабораторного исследования, результат, референтные значения, ед. измерения.

Анализ сравнительной динамики показателей смертности по Тамбовской области в период с января 2019 года по декабрь 2021 года показал, что смертность больных сахарным диабетом 1 и 2 типа с поражением почек, диагнозом «диабетическая нефропатия», почечной недостаточностью и нефритическим синдромом увеличилась на 10 %. В таблице 2 указаны основные характеристики показателей смертности: год, общее число

Таблица 1.
Основные показатели при диабетической полинефропатии

| Название лабораторного исследования | Референтные значения | Ед. измерения | Результат |
|---------------------------------------|----------------------|------------------------------|-----------|
| Экскреция альбумина (микроальбинурия) | 30 | мг/сутки | 223± 47,6 |
| СКФ (скорость клубочковой фильтрации) | 116 | мл/минуту/1,73м ² | 27±5,7 |
| Протеинурия | 40–80 | г/сутки, | 15±2,2 |
| Уровень глюкозы в крови | 3, 3–6, 0 | ммоль/л | 33,7±9,8 |
| Креатин | 44-80/74-110 | мкмоль/л | 349± 59,7 |
| Гликированный гемоглобин | 4.8–5.9 | % | 12±4,8 |
| Глюкозурия в моче | 0.3–1.1 | ммоль/л | 18±6,7 |
| Плотность мочи | 1.003–1.030 | г/л | 1015–1008 |
| Мочевина | 3.5–6.5 | Моль/л | 8/1 |
| Осмолярность мочи | 1000 | мосм/л | 289±34.7 |

смертности, число умерших людей от сахарного диабета 1 и 2 типа, число умерших больных сахарным диабетом 1 и 2 типа с поражением почек, диагнозом «диабетическая нефропатия», почечной недостаточностью и нефритическим синдромом.

При анализе гистологических срезов образцов ткани, полученных в результате аутопсии, обнаруживается узловатый гломерулосклероз. Присутствует значительное утолщение артериол, характерное для гиалинового атеросклероза.

Обсуждение

На основании полученных данных исследования были обнаружены следующие факты:

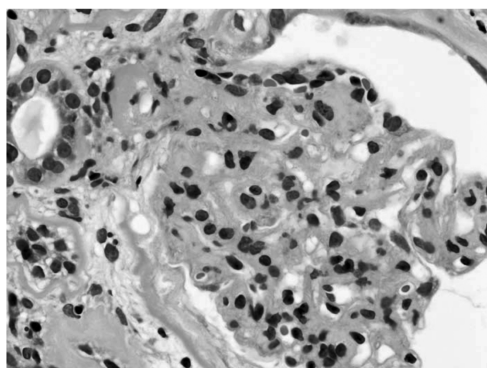


Рис. 1. Узелковый гломерулосклероз при нефритическом синдроме при сахарном диабете. Выраженное утолщение артериол, типичный гиалиновый атеросклероз. Утолщение базальных мембран. Окраска гематоксилин-эозин, увеличение x40

Таблица 2.
Сравнительная динамика показателей смертности с 2019 по 2021

| Год | Пол | | Возраст | | Кол-во выявленных случаев больных с сахарным диабетом с почечной недостаточностью при диабетической нефропатии | Смертность больных с сахарным диабетом 1 типа с почечной недостаточностью при диабетической нефропатии |
|------|------|------|----------------------------------|----------------------------------|--|--|
| | Жен | Муж | Больные сахарным диабетом 1 типа | Больные сахарным диабетом 2 типа | | |
| 2019 | 934 | 1071 | 26–29 | 58–66 | 5974 | 58 |
| 2020 | 1231 | 1312 | 28–32 | 61–70 | 6478 | 55 |
| 2021 | 1431 | 1612 | 29–36 | 59–63 | 7271 | 69 |

1. Количество регистрации случаев больных сахарным диабетом 1 и 2 типа с поражением почек в сочетании с диабетической нефропатией и почечной недостаточностью в 2020 году выше на 54 %, чем в 2019 году, но смертность с сахарным диабетом 1 типа с почечной недостаточностью, диагнозом «диабетическая нефропатия», почечной недостаточностью и нефритическим синдромом не превышает и 1 %. Количество регистрации случаев больных сахарным диабетом 1 и 2 типа с поражением почек, диагнозом «диабетическая нефропатия», почечной недостаточностью и нефритическим синдромом в 2021 году выше на 5 %, чем в 2020 году, смертность с сахарным диабетом 1 типа с почечной недостаточностью, диагнозом «диабетическая нефропатия», почечной недостаточностью и нефритическим синдромом в 2021 году выше на 25 %.

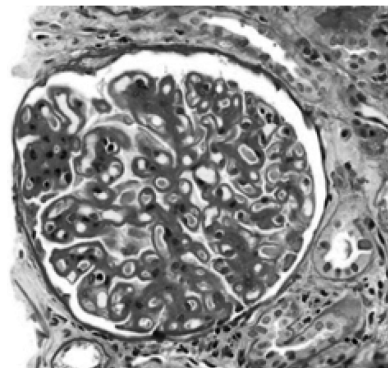


Рис. 2. Узелковый гломерулосклероз (болезнь Киммельстия–Вильсона). Выраженное утолщение артериол, типичный гиалиновый атеросклероз, в области петель клубочковых капилляров, значительное увеличение и уширение мезангиального матрикса в результате неинзиматического гликозирированного протеина. Дистрофические изменения капилляров канальцев. Окраска гематоксилин-эозин, увеличение x40

2. По результатам лабораторных данных можно сделать заключения о наличии у больных сахарным диабетом 1 и 2 типа выраженных признаков почечной недостаточности с диагнозом диабетическая нефропатия.

Вывод

Изучив статистические данные, можно сделать вывод, что негативная динамика развития при диабетической нефропатии за последние три года привела к удвительному удвоению. Данные показывают, что среди

людей с сахарным диабетом 1 типа 27 из 30 умерли из-за острой почечной недостаточности, в то время как среди пациентов с сахарным диабетом 2 типа этот показатель составил всего 18 человек, в то время как заболевание перешло в хроническую фазу. Основными факторами, повлиявшими на эту ситуацию, стали повышенное потребление сахара и соли, наличие вредных привычек, недостаточный контроль уровня глюкозы в крови и малоподвижный образ жизни. Важно отметить, что эти факторы серьезно усугубляют проблему и требуют внимания как со стороны пациентов, так и со стороны медицинского персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куценко Л.В., Зорин И.В., Вялкова А.А. Патогенетические механизмы формирования нефропатии при сахарном диабете 1 типа // лв. 2018. №6. url: <https://doi.org/10.1186/s13098-019-0403-4>
2. de Boer IH, Khuntia K, Sadusky T, et al. Diabetes management in chronic kidney disease: a consensus report by the American Diabetes Association (ADA) and Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO). *Kidney International*. 2022;102(5):974–989.
3. Сулейман, М.К. Диабетическая нефропатия: последние достижения в патофизиологии и проблемы в управлении питанием. *Диабетол Метаболический синдром* 11, 7 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13098-019-0403-4>
4. Шахбоз Шерматиллаевич Михлиев, Азиз Уктам Угли Сафарав, Абдулатиф Хабибулло Угли Аминов, Нозима Собиржановна Курбанова Сахарный диабет // *Science and Education*. 2023. №5.
5. Жавохир Анварович Анорбоев, Шохрух Толмас Угли Умиров, Одил Рустам Угли Салайдинов, Гулнора Сиддиковна Тогаева Сахарный диабет: эпидемия столетия // *Science and Education*. 2023. №5.
6. Сулейман, М.К. Диабетическая нефропатия: последние достижения в патофизиологии и проблемы в управлении питанием. *Диабетол Метаболический синдром* 11, 7 (2019). <https://doi.org/10.1186/s13098-019-0403-4>
7. Чартакова Х.Х., Чартаков А.К. диабетическая нефропатия. современный взглядна проблему // *Мировая наука*. 2023. №10 (79). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diabeticheskaya-nefropatiya-sovremennyy-vzglyadna-problemu>
8. Жилинская Т.Р., Столяревич Е.С., Томилина Н.А. Поражение почек при сахарном диабете 2 типа: клинко-морфологические корреляции и показания к биопсии. *Нефрология и диализ*. 2016. 18(3):273–281. doi: <https://doi.org/10.1186/s13098-019-0403-4>
9. Ortega M-R., Rodrigues-Diez R., Lavoz C. Special Issue 'Diabetic Nephropathy: Diagnosis, Prevention and Treatment'. *J Clin Med*. 2020; 17;9(3):813.
10. Qi C, Mao X., Zhang Z. et al. Classification and Differential Diagnosis of Diabetic Nephropathy. *Diabetes Res*. 2017; 2017:8637138.
11. Муркамилов Илхом Торобекович, Айтбаев К.А., Фомин В.В., Кудайбергенова И.О., Муркамилова Ж.А., Юсупов Ф.А. диабетическая нефропатия: распространенность и факторы риска // *Вестник ВолГМУ*. 2021. №1 (77). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/diabeticheskaya-nefropatiya-rasprostranennost-i-factory-riska>
12. Khoury C.C., Chen S., Ziyadeh F.N. Pathophysiology of Diabetic Nephropathy // *Chronic Renal Disease*. Academic Press. — 2020. — P. 279–296. — URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815876-0.00019-X>
13. Куценко Л.В., Зорин И.В., Вялкова А.А. Патогенетические механизмы формирования нефропатии при сахарном диабете 1-го типа // *Лечащий врач*. — 2018. — № 6. — С. 58–61.
14. Vodosek Hojs N., Bevc S., Ekart R., et al. Oxidative Stress Markers in Chronic Kidney Disease with Emphasis on Diabetic Nephropathy // *Antioxidants*. — 2020. — Vol. 9, no. 10. — P. 925. — URL: <https://doi.org/10.3390/antiox9100925>.
15. Bonora E., DeFronzo R. Diabetes Complications, Comorbidities and Related Disorders // *New York: Springer*. 2018; Pp. 203–229.
16. Selby N.M., Taal M.W. An updated overview of diabetic nephropathy: Diagnosis, prognosis, treatment goals and latest guidelines. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 2020, vol. 22, pp. 3–15.
17. Eftekhari A., Vahed S.Z., Kavetsky T., et al. Cell junction proteins: Crossing the glomerular filtration barrier in diabetic nephropathy // *International journal of biological macromolecules*. — 2020. — Vol. 148. — P. 475–482. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.168>.
18. Багрий Андрей Эдуардович, Хоменко Марина Владимировна, Шверова Олеся Игоревна диабетическая нефропатия: вопросы эпидемиологии, терминологии, патогенеза, клинической картины и лечебной тактики (обзор литературы) // *Крымский терапевтический журнал*. 2022. №1.

© Павлов Богдан Владимирович (DewollS@yandex.ru); Гончарова Евгения Сергеевна (ev.gon17@gmail.com); Кузиев Иброхимджон Джохонбекович (kuzievibrohim@gmail.com); Мосолкова Кристина Владимировна (kristina.kuzntzova2010@yandex.ru); Скобелева Анна Александровна (sheine17@yandex.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ЛАПАРОСКОПИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПЕРФОРАТИВНЫХ ГАСТРОДУОЛЕНАЛЬНЫХ ЯЗВ В УСЛОВИЯХ РАЙОННОЙ БОЛЬНИЦЫ

LAPAROSCOPIC TREATMENT OF PERFORATIVE GASTRODUOENAL ULCERS IN A DISTRICT HOSPITAL

A. Teuvov
M. Shugushkhova
D. Bavokova
E. Bitova
A. Kodzokov

Summary. Complicated peptic ulcer of the stomach and duodenum remains one of the formidable diseases of the digestive system. This kind of patients often undergo surgical treatment according to absolute indications. Meanwhile, until now there is no single point of view on the choice of the method of surgical treatment of such patients.

Aim. To optimize the primary surgical treatment of gastric and duodenal ulcers complicated by perforation.

Materials and methods. The study included clinical material consisting of 60 patients with gastroduodenal ulcers complicated by perforation. Depending on the type of treatment, patients are divided into 2 groups: the first group — suturing of a perforated gastroduodenal ulcer from a mini-access; the second group — suturing — performed by laparoscopic method. The methods of examination of patients included general clinical, laboratory, X-ray, ultrasound, endoscopic, the Wong-Baker pain assessment scale and quality of life was carried out on the MOS SF-36 and Visick scale.

Results. It has been established that the use of laparoscopic intervention in suturing a perforated gastroduodenal ulcer significantly affects the postoperative course of the disease, its prognosis, and the outcome of patients. The use of this method avoids a large number of conversions when attempting standard suturing of a perforated ulcer when compared with the standard method, which reduced the duration of the operation, the use of narcotic analgesics, the number of bed days, and improved the long-term results of treatment of this category of patients.

Conclusion. The obtained facts allow us to revise the strategy in surgical therapy of the considered category of patients in the direction of approving the expediency of performing laparoscopic operations for perforated gastroduodenal ulcer.

Keywords: laparoscopy, treatment of peptic ulcer, perforation.

Теуов Аслан Алексеевич

Кандидат медицинских наук, доцент,
Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик
teuw@mail.ru

Шугушхова Милана Руслановна

Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик
shugushkhovamar@mail.ru

Бавокова Диана Аслановна

Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик
dayana.bavokova00@mail.ru

Битова Элина Муратовна

Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик
Kafedra_OX@rambler.ru

Кодзоков Артур Аахмедович

Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик
kodzokov.artur@bk.ru

Аннотация. Осложненная язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки остается одним из грозных заболеваний со стороны органов пищеварительной системы. Больным с такой патологией, зачастую, хирургическое лечение производят по абсолютным показаниям. И до сих пор единой точки зрения при выборе метода оперативного лечения таких больных нет. *Цель.* Оптимизировать первичное хирургическое лечение язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, осложнённой перфорацией.

Материалы и методы. В исследовании представлен сравнительный анализ лечения 60 пациентов с гастродуоденальными язвами, осложнённой перфорацией, разделенных на 2 группы. Первой группе больных было произведено ушивание перфоративной гастродуоденальной язвы из мини-доступа; второй группе ушивание было выполнено лапароскопически. Методы обследования пациентов включили: общеклинические, лабораторные, рентгенологические, ультразвуковые и эндоскопические исследования, шкалу оценки боли по Wong-Baker и шкалу оценки качества жизни по MOS SF-36 и Visick. *Результаты.* Установлено, что использование лапароскопического вмешательства в ушивании перфоративной гастродуоденальной язвы оказывает существенное влияние на послеоперационное течение заболевания, его прогноз, и результат лечения пациентов. Применение данного способа позволяет избежать большого количества конверсий в последующем в сравнении со стандартным методом, сокращает продолжительность операции, применение наркотических анальгетиков, количество койко-дней и улучшает отдаленные результаты лечения данной категории больных. *Заключение.* Полученные факты позволяют пересмотреть стратегию хирургического лечения данной категории больных в плане утверждения целесообразности выполнения лапароскопических операций при перфоративной гастродуоденальной язве.

Ключевые слова: лапароскопия, лечение язвенной болезни, перфорация.

Введение

Несмотря на расширение познаний в многофакторной этиологии пептических язв [1–3], такие угрожающие жизни осложнения, как кровотечение или перфорация, возникают у значительной части пациентов. При перфорации летальность составляет от 10 до 40 % [4–6]. Если с момента перфорации прошло более 24 ч, умирают до 50 % больных [7, 8].

Методом выбора при лечении пациентов с перфоративной пептической язвой (ППЯ) является неотложное хирургическое вмешательство [6]. Основным способом хирургического лечения ППЯ, как и 100 лет назад, остается паллиативная операция — ушивание перфоративного отверстия [9–11].

После внедрения лапароскопической хирургии возникла идея о лапароскопическом ушивании ППЯ с целью уменьшения выраженности послеоперационной боли и сокращения срока госпитализации [12, 13]. В 1990 г. P. Mouret и соавт. [14] опубликовали первые результаты видеолапароскопического ушивания ППЯ. По их данным, этот метод снижал частоту послеоперационных раневых осложнений и выраженность спаечного процесса в брюшной полости.

Дальнейшие исследования продемонстрировали выполнимость, относительную простоту и возможность унификации лапароскопического ушивания ППЯ, однако до сих пор опубликованы лишь единичные исследования, показывающие преимущества этого способа [8, 9, 15–21].

Цель исследования

Оптимизировать первичное хирургическое лечение язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, осложнённой перфорацией.

Материал и методы

Исследование проведено на базе хирургического отделения ГБУЗ «Межрайонная Многопрофильная Больница» г. Нарткала КБР. В качестве клинического материала проанализированы истории болезни пациентов (n=60) с гастроудоденальными язвами, осложнённой перфорацией.

Критериями включения в исследование явились: верификация диагноза гастроудоденальная язва, осложнённая перфорацией» при помощи клиничко-лабораторно-инструментальных методов; пол — женский и мужской; собственное письменное согласие; легкие сопутствующие заболевания; показания — перфорация желудка или двенадцатиперстной кишки; отсутствие

других осложнений; отсутствие распространенного перитонита; проведенное оперативное лечение.

Критерии исключения из исследования: персональный отказ от исследования; тяжелые сопутствующие заболевания; наличие признаков малигнизации язвы.

В зависимости от вида лечения пациенты были разделены на 2 группы: в первой, контрольной, группе (n=38) было произведено ушивание перфоративной гастроудоденальной язвы из мини-доступа (мини-лапаротомия с использованием комплекта инструментов «Мини-Ассистент» по М.И. Прудкову); во второй, основной, группе (n=22) ушивание было выполнено лапароскопическим методом.

В I группе из 38 пациентов мужчин было 34 (89,4 %), женщин — 4 (11,6 %). Во II, основной группе это соотношение составило: мужчин — 21 (95,4 %), женщин — 1 (4,6 %).

Возраст пациентов варьировал от 18 до 67 лет и составил $37,5 \pm 2,8$ лет в контрольной группе и $38,1 \pm 2,2$ лет — в основной.

Из анамнеза было известно, что давность заболевания составила $5,7 \pm 0,34$ часов контрольной группы и $6,1 \pm 0,31$ часов — основной.

Подсчет Мангеймского перитонеального индекса при госпитализации в клинику показал, что средний балл составил $12,1 \pm 0,54$ баллов первой группы и $11,8 \pm 0,41$ баллов — второй.

По локализации язвы желудка отмечены у 25 (65,8 %) контрольной группы и у 12 (54,5 %) основной, а двенадцатиперстной кишки — у 13 (34,2 %) и 10 (45,5 %).

Методы обследования пациентов включили общеклинические, лабораторные, рентгенологические (аппарат Drgem Diamond-8A), ультразвуковые (аппарат ALOKA-SSD- α 10), эндоскопические (аппарат PENTAX EG-2970K). В работе были использованы шкалы оценки боли по Wong-Baker и качества жизни по MOS SF-36 и Visick.

Пред- и послеоперационная терапия проведена согласно клиническим рекомендациям и включала антибактериальный, дезинтоксикационный, обезболивающий, антигистаминный и др. компоненты.

Оперативное лечение выполнено в максимально короткие сроки с момента госпитализации согласно национальным рекомендациям по отдельным нозологиям. Проведены устранение источника перитонита, санация и дренирование брюшной полости.

Сроки исследования — непосредственный (этап госпитализации и ранний послеоперационные сутки) и отдаленный (спустя один год).

Статистический анализ исходных данных проводился пакетом программ Microsoft Excel и Word, и Statistica (ver. 20.0.). Для сравнения между группами принимались t-критерий, критерий Манна-Уитни.

Результаты и обсуждения

По продолжительности хирургического вмешательства стандартная операция — ушивание перфоративной гастродуоденальной язвы — занимала $75,7 \pm 5,8$ минут, а лапароскопическое вмешательство — $47,6 \pm 7,8$ минут.

Продолжительность пребывания в стационаре и выраженность некоторых клинических показателей представлена на рис. 1.

По данным рис. 1, послеоперационный анамнез показал, что выраженность болевого синдрома по шкале

Wong-Baker составила 3–9 баллов/сут (в среднем — $7,1 \pm 0,15$ баллов/сут) контрольной группы и 2–7 баллов/сут ($3,9 \pm 0,09$ балла/сут) основной. Температура тела приходила в норму через $4,5 \pm 0,22$ суток контрольной группы и $2,9 \pm 0,12$ суток — основной. Продолжительность клинического пребывания пациентов контрольной группы составила 5–15 ($13,3 \pm 0,41$) койко-дней. В то же время в основной группе данный параметр составил 2–10 ($8,9 \pm 0,34$) койко-дней.

В послеоперационном периоде в обеих группах было отмечено развитие таких осложнений как парез кишечника, несостоятельность швов, абсцесс брюшной полости, нагноение раны, спаечная кишечная непроходимость, ТЭЛА, острый панкреатит, которые представлены на рисунке 2.

Как видно на рис. 2, основная доля послеоперационных осложнений зарегистрирована у пациентов контрольной группы.

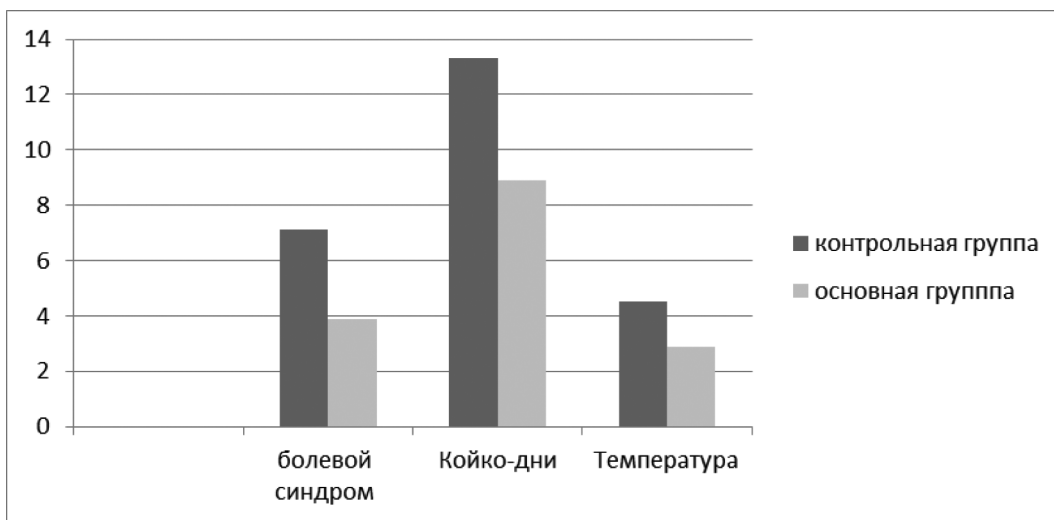


Рис. 1. Продолжительность клинических показателей (сутки)

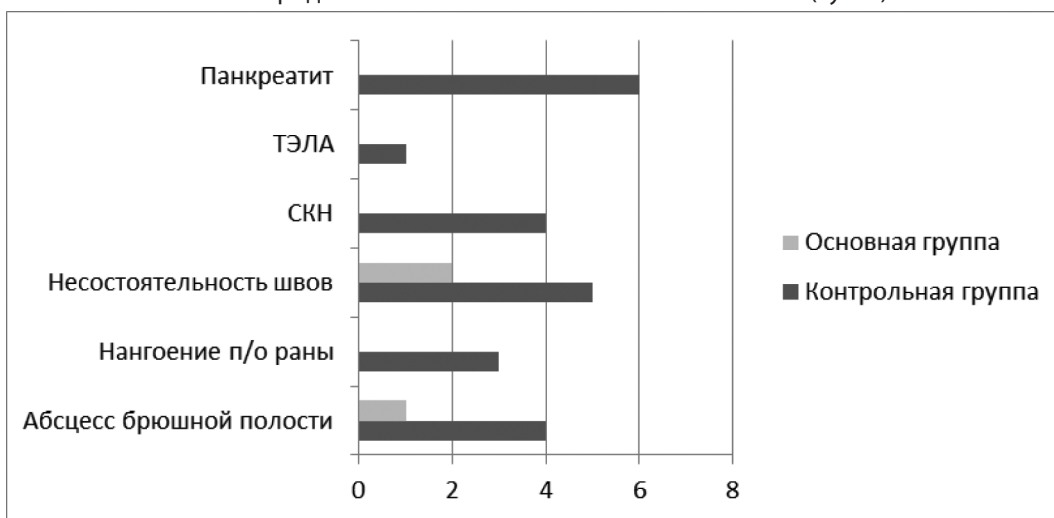


Рис. 2. Послеоперационные осложнения

Парез кишечника продолжался от 6 часов до 4 суток в первой группе и от 6 часов до 2 суток — в основной.

Швы снимались на 5–7 сутки после хирургического вмешательства у пациентов контрольной группы и на 4–5 сутки после лапароскопической операции.

Ранняя послеоперационная и отдаленная оценка физического и психологического компонентов здоровья пациентов показана в таблицах 1 и 2 и рисунках 3 и 4.

Таблица 1.

Ранние послеоперационные физические параметры по шкале MOS SF-36

| Показатель | Группы исследования | | | |
|------------|---------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | Контрольная (n=38) | | Основная (n=22) | |
| | Ср. знач. (%) | Станд. откл. | Ср. знач. (%) | Станд. откл. |
| БС | 55,2 | 11,6 | 40,9* | 8,9 |
| ФР | 73,7 | 9,8 | 81,8* | 10,1 |
| ФП | 50,0 | 10,5 | 40,9* | 9,3 |
| ОЗ | 84,2 | 11,9 | 90,9* | 12,5 |

Примечание: * — статистически значимые отличия к первой группе (p<0,05).

БС — болевой синдром, ФР — физическая работоспособность, ФП — физические проблемы, ОЗ — общее здоровье

Согласно данным табл. 1, анализ физического компонента здоровья пациентов показал, что в основной группе выраженность болевого синдрома была меньше на 14,3 % (p<0,05), физическая работоспособность — была выше — на 8,1 % (p<0,05), роль физических про-

блем в ограничении жизнедеятельности — меньше — на 9,1 % (p<0,05), уровень общего здоровья — был выше — на 6,7 % (p<0,05).

Таблица 2.

Ранние показатели качества оценки жизни по шкале Visick

| Показатель | Группы исследования | | | |
|----------------------|---------------------|------|-----------------|------|
| | Контрольная (n=38) | | Основная (n=22) | |
| | Общ. чис. | % | Общ. чис. | % |
| Отличный | 19 | 50,0 | 16 | 72,7 |
| Хороший | 7 | 18,4 | 6 | 27,3 |
| Удовлетворительный | 7 | 18,4 | 0 | 0 |
| Неудовлетворительный | 5 | 13,2 | 0 | 0 |

Из данных рис. 3 следует, что при исследовании психологического аспекта по шкале MOS SF-36 роль эмоциональных проблем в ограничении жизнедеятельности у пациентов второй группы была понижена относительно первой группы на 15,8 % (p<0,05). Значения энергичности и социальной роли у пациентов основной группы превышали результаты в контрольной на 12,7 и 11,5 % соответственно (p<0,05).

При оценке качества жизни по шкале Visick отмечено существенное отличие послеоперационных результатов в зависимости от применяемого метода хирургического лечения (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что по шкале Visick в основной группе больных значение отличного и хорошего результатов в сумме было на 31,6 % выше, чем у пациентов контроль-

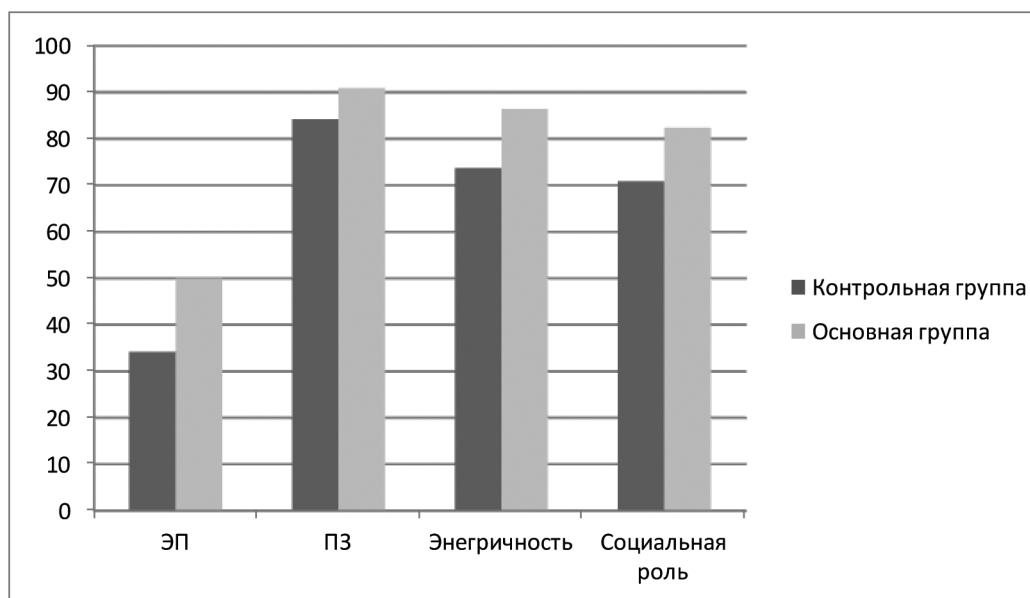


Рис. 3. Ранние послеоперационные психологические параметры по шкале MOS SF-36

Примечание: ЭП — эмоциональные проблемы, ПЗ — психическое здоровье

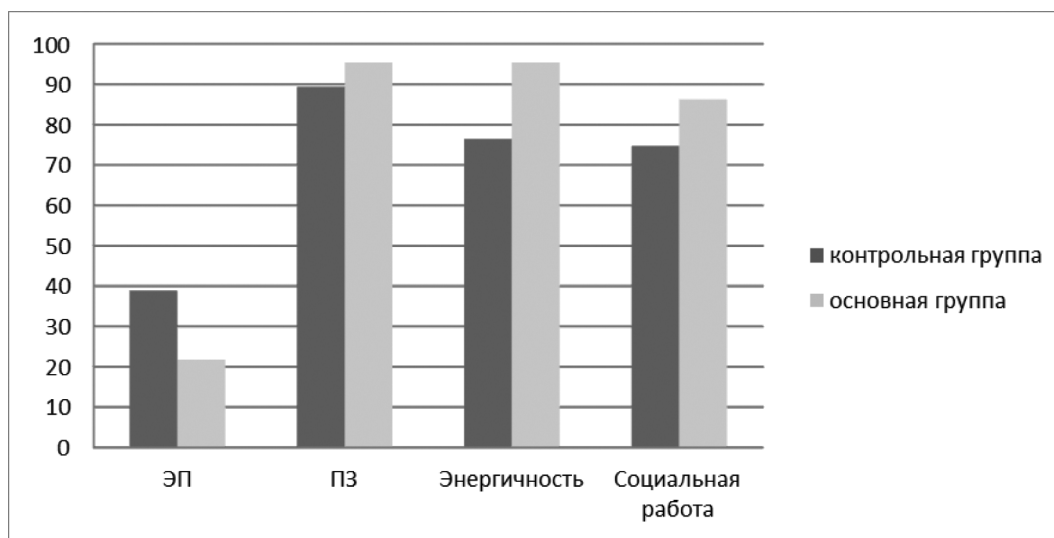


Рис. 4. Отдаленные послеоперационные психологические параметры по шкале MOS SF-36

ной группы. Причем в основной группе удовлетворительного и неудовлетворительного результатов не наблюдалось.

Данными психологического компонента шкалы MOS SF-36 было выявлено, что роль эмоциональных проблем в ограничении жизнедеятельности зарегистрирована у 11 (28,9 %) пациентов первой группы и у 5 (22,7 %) — второй.

Психические расстройства не обнаружилось у 34 (89,4 %) пациентов контрольной группы и у 21 (95,4 %) — основной группы.

Энергичная активность продемонстрирована у 32 (84,2 %) больных после традиционной операции ликвидации перфорации язвы и у 21 (95,4 %) — после лапароскопической операции.

Социальная способность и функционирование отмечены у 30 (78,9 %) больных в контрольной группе и у 19 (86,3 %) — в основной группе.

Результаты анализа отдаленных физических показателей по шкале MOS SF-36 представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Отдалённые физические показатели по шкале MOS SF-36

| Показатель | Группы исследования | | | |
|------------|---------------------|-------------|-----------------|-------------|
| | Контрольная (n=38) | | Основная (n=22) | |
| | Сред. знач. (%) | Станд. отк. | Сред. знач. (%) | Станд. отк. |
| БС | 36,8 | 5,4 | 22,7* | 4,9 |
| ФР | 78,9 | 8,2 | 86,8* | 9,1 |
| ФП | 44,7 | 7,8 | 27,2* | 7,7 |
| ОЗ | 86,8 | 9,4 | 95,4* | 10,6 |

Как видно из табл. 3, анализ физического компонента здоровья пациентов показал, что значение параметров шкалы MOS SF-36 у пациентов основной группы достоверно превышал данные больных контрольной группы: выраженность болевого синдрома была меньше на 14,1 % ($p < 0,05$), физическая работоспособность была выше на 7,9% ($p < 0,05$), роль физических проблем в ограничении жизнедеятельности — меньше на 17,5 % ($p < 0,05$), уровень общего здоровья был выше на 8,6 % ($p < 0,05$).

Как видно из рис. 4, роль эмоциональных проблем в ограничении жизнедеятельности у пациентов второй группы была ниже относительно первой группы на 17,1 % ($p < 0,05$).

Энергичность и социальная роль у пациентов основной группы превышали соответствующие показатели в контрольной группе на 18,9 и 11,5 % ($p < 0,05$).

При анализе отдаленных результатов по шкале Visick выявлены следующие данные, представленные в таблице 4.

Таблица 4.

Отдаленные параметры шкалы Visick

| Показатель | Группы исследования | | | |
|----------------------|---------------------|------|-----------------|------|
| | Контрольная (n=38) | | Основная (n=22) | |
| | Общ. число | % | Общ. число | % |
| Отличный | 20 | 52,6 | 20 | 90,9 |
| Хороший | 10 | 26,3 | 2 | 9,1 |
| Удовлетворительный | 7 | 18,5 | 0 | 0 |
| Неудовлетворительный | 1 | 2,6 | 0 | 0 |

Как видно из табл. 4, в основной группе на 21,1 % ($p < 0,05$) было преобладание отличного и хорошего ре-

зультатов при отсутствии удовлетворительного и неудовлетворительного результатов над аналогичными данными контрольной группы, причем в последней также наблюдаются удовлетворительный и неудовлетворительный результаты.

Исходя из полученных результатов установлено, что использование лапароскопического вмешательства при ушивании перфоративной гастродуоденальной язвы позволило избежать большого количества конверсий при попытке стандартного ушивания прободной язвы, что уменьшило продолжительность операции, применение наркотических анальгетиков, количество койко-дней и улучшило отдаленные результаты лечения данной категории больных, что оказало существенное положи-

тельное влияние на послеоперационное течение заболевания, его прогноз, и исход.

Таким образом, проведенный анализ показал, что ушивание перфоративной гастродуоденальной язвы с помощью лапароскопического вмешательства ведет к хорошим клиническим результатам. У таких пациентов показатели качества жизни оказались выше, а показатели физического и психологического компонента здоровья — лучше.

Полученные факты позволяют пересмотреть стратегию в хирургической терапии рассматриваемой категории больных в направлении утверждения целесообразности выполнения лапароскопических операций при перфоративной гастродуоденальной язве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Malfertheimer P, Chan FK, McColl KE. Peptic ulcer disease. *Lancet*. 2009;374(9699):1449–1461. doi: 10.1016/S0140-6736(09)60938-7
2. Quenot JP, Thiery N, Barbar S. When should stress ulcer prophylaxis be used in the ICU? *Curr Opin Crit Care*. 2009;15(2):139–143. doi: 10.1097/MCC.0b013e32832978e0
3. Yeomans ND. Overview of 50 years' progress in upper gastrointestinal diseases. *J Gastroenterol Hepatol*. 2009;24(3):2–4. doi: 10.1111/j.1440-1746.2009.06064.x
4. Svanes C. Trends in perforated peptic ulcer: incidence, etiology, treatment, and prognosis. *World J Surg*. 2000;24:277–283. doi: 10.1007/s002689910045
5. Møller MH, Adamsen S, Wojdemann M, Møller AM. Perforated peptic ulcer: how to improve outcome? *Scand J Gastroenterol*. 2009;44(1):15–22. doi: 10.1080/00365520802307997
6. Bertleff MJ, Lange JF. Perforated Peptic Ulcer Disease: A Review of History and Treatment. *Dig Surg*. 2010;27(3):161–169. doi: 10.1159/000264653
7. Seelig MH, Seelig SK, Behr C et al. Comparison between open and laparoscopic technique in the management of perforated gastroduodenal ulcers. *J Clin Gastroenterol*. 2003;3:226–229. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12960721>
8. Lunevicius R, Morkevicius M. Management strategies, early results, benefits and risk factors of laparoscopic repair of perforated peptic ulcer. *World J Surg*. 2005;29:1299–1310. doi: 10.1007/s00268-005-7705-4
9. Lau H. Laparoscopic repair of perforated peptic ulcer: a meta-analysis. *Surg Endosc*. 2004;18:1013–1021. doi: 10.1007/s00464-003-8266-y
10. Lunevicius R, Morkevicius M. Risk factors influencing the early outcome results after laparoscopic repair of perforated duodenal ulcer and their predictive value. *Langenbecks Arch Surg*. 2005;390:413–420. doi: 10.1007/s00423-005-0569-0
11. Крылов Н., Винничук Д. Перфоративная язва: патоморфоз, коллизии и тренды. *Врач*. 2012;1:15–20.
12. Köhler L. Endoscopic surgery: what has passed the test? *World J Surg*. 1999;23:816–824. doi: 10.1007/s002689900585
13. Sanabria AE, Morales CH, Villegas MI. Laparoscopic repair for perforated peptic ulcer disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2005(4):CD004778. doi: 10.1002/14651858.CD004778.pub2
14. Mouret P, Francois Y, Vignal J et al. Laparoscopic treatment of perforated peptic ulcer. *Br J Surg*. 1990;77:1006. doi: 10.1002/bjs.1800770916
15. Lau WY, Leung KL, Kwong KH et al. A randomized study comparing laparoscopic versus open repair of perforated peptic ulcer using suture or suture less technique. *Ann Surg*. 1996;224:131–138. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1235333/>
16. Siu WT, Chau CH, Law BKB et al. Routine use of laparoscopic repair for perforated peptic ulcer. *Br J Surg*. 2004;91:481–484. doi: 10.1002/bjs.4452
17. Lunevicius R, Morkevicius M. Comparison of laparoscopic vs open repair for perforated duodenal ulcers. *Surg Endosc*. 2005;19(12):1565–1571. doi: 10.1007/s00464-005-0146-1
18. Bertleff MJ, Halm JA, Bemelman WA et al. Randomized clinical trial of laparoscopic versus open repair of the perforated peptic ulcer: the LAMA Trial. *World J Surg*. 2009;33(7):1368–1373. doi: 10.1007/s00268-009-0054-y
19. Каттабеков О.А., Ризаев К.С., Атаджанов Ш.К. Сравнительная характеристика непосредственных результатов традиционного и лапароскопического ушивания перфоративных дуоденальных язв. *Анналы хирургии*. 2009;3:32–36.
20. Избасаров Р.Ж. Лапароскопическое ушивание перфоративных гастродуоденальных язв. *Эндоскопическая хирургия*. 2013;19(2):15–17.
21. Сажин И.В., Сажин В.П., Бронштейн П.Г. и др. Лапароскопическое лечение перфоративных язв. *Хирургия*. 2014;7:12–16.

© Теуов Аслан Алексеевич (teuw@mail.ru); Шугушхова Милана Руслановна (shugushkhovamar@mail.ru);
 Бавокова Диана Аслановна (dayana.bavokova00@mail.ru); Битова Элина Муратовна (Kafedra_OX@rambler.ru);
 Кодзоков Артур Аахмедович (kodzokov.artur@bk.ru)
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ОТДАЛЕННЫХ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ЛЕЧЕНИИ ПРОЛАПСА ГЕНИТАЛИЙ

ANALYSIS OF THE STRUCTURE OF LONG-TERM COMPLICATIONS IN COMPLEX TREATMENT OF GENITAL PROLAPSE

I. Timofeev
V. Ponomarev
V. Artyushkov
A. Sharibova
N. Grigoryan

Summary. Prolapse and prolapse of the internal genital organs is one of the most common diseases, usually occurring in older women and necessitating surgical intervention. Considering the trend towards increasing life expectancy and improving quality of life, we can predict an increase in the number of operations performed to correct this pathology. Taking into account the latest research on complications after the use of mesh implants for the correction of genital prolapse, we can conclude that a change in the approach to treating the disease is required and the search for an actual method that is effective, reliable and, most importantly, reduces the number of complications to a minimum.

Keywords: pelvic organ prolapse, anterior prolapse, posterior prolapse, apical prolapse, fixation of the uterus to the aponeurosis.

Тимофеев Илья Александрович

Врач акушер-гинеколог,
ГБУЗ Краевая клиническая Больница №2, Краснодар
iliya.timofeew@yandex.ru

Пономарев Владислав Викторович

Доктор медицинских наук, профессор, профессор,
«Кубанский государственный медицинский
университет» Министерства здравоохранения
Российской Федерации;
заведующий гинекологическим отделением,
государственное бюджетное учреждение
здравоохранения «Краевая клиническая больница»
Министерства здравоохранения Краснодарского края
pvvkmldo@gmail.com

Артюшков Виктор Валерьевич

Ассистент, кандидат медицинских наук, врач акушер-
гинеколог высшей квалификационной категории,
врач акушер-гинеколог гинекологического отделения,
ГБУЗ Краевая клиническая Больница №2, Краснодар
11vik@mail.ru

Шарибова Азида Муратовна

Врач акушер-гинеколог гинекологического отделения,
ГБУЗ Краевая клиническая Больница №2, Краснодар

Григорян Нона Самвеловна

Врач акушер-гинеколог гинекологического отделения
ГБУЗ Краевая клиническая Больница №2, Краснодар
nonna.Grigoryan777@mail.ru

Аннотация. Опущение и выпадение внутренних половых органов является одним и наиболее распространенных заболеваний, встречающихся, как правило, у женщин пожилого возраста и обуславливающих необходимость хирургического вмешательства. Учитывая тенденцию к увеличению продолжительности жизни и улучшению качества жизни, можно прогнозировать, увеличение количества произведенных операций для коррекции данной патологии. Принимая во внимание последние исследования об осложнениях, после использования сетчатых имплантов, для коррекции пролапса гениталий, можно сделать вывод, что требуется изменение подхода для лечения заболевания и поиск актуального метода, эффективного, надежного и главное, сводящего число осложнений к минимуму.

Ключевые слова: пролапс тазовых органов, передний пролапс, задний пролапс, апикальный пролапс, фиксация матки к апоневрозу.

Пролапс тазовых органов (ПТО) — патологический процесс, при котором происходит опущение тазового дна и органов малого таза изолированно или в сочетании [1], [2], [3], [4], [5]. Генитальный пролапс можно рассматривать как разновидность грыжи тазового дна, располагающейся в области влагалищного входа. Этиология ПТО является многофакторной, существует высокая корреляция с беременностью и вагиналь-

ми родами, которые могут потребовать использования хирургических пособий, привести к прямому повреждению мышц тазового дна и соединительной ткани. [6] Также значительную роль играют дисплазии соединительной ткани, хроническое повышение внутрибрюшного давления, дефицитов эстрогенов, ожирение [7], [8], [9], [10], [11]

Согласно мировым данным, более 50 % женского населения отмечают те или иные проявления ПТО [12], [13], [14], [16]. При изолированном опущении передней стенки влагалища уместно использовать термин «передний пролапс», при опущении задней стенки — «задний пролапс» [5]. Наиболее действенной в лечении различных форм пролапса тазовых органов на данный момент является хирургическая коррекция. Однако, заболевание зачастую манифестирует еще в репродуктивном возрасте и носит прогрессирующий характер [16]. Известно, что у более 80 % женщин с клиническими проявлениями ПТО отмечены сочетанные формы апикального и задним и/или передним пролапсов. В связи с этим, особую популярность в последние десятилетия приобрели различные модификации, которая направлены на разработку дополнительной поддержки органов малого таза при помощи различных биологических или полимерных материалов, которые замещают дефекты тазовой фасции.

Однако, несмотря на использование многочисленных способов коррекции, повторному хирургическому вмешательству подвергаются 30–35 % пациенток, что связано с постоперационными осложнениями и рецидивом заболевания. Это свидетельствует о том, что проблема органосберегающих и эффективных методик лечения ПТО остается открытой и требует новых разработок. В настоящей работе предложен комплексный подход хирургического лечения ПТО с естественным восстановлением и анализ некоторых отдаленных осложнений.

I. Методологическое описание комплексной методики хирургического лечения ПТО с использованием собственных тканей

Лечение пролапса тазовых органов выполнялась с помощью новой комплексной методики, разработанной в гинекологическом отделении ККБ N2 г. Краснодара.

Краткая характеристика исследуемой группы.

В исследуемую группу вошло 350 пациентов, прооперированных в период 2018–2022 гг. Возраст пациентов: 43–74 года. Индекс массы тела: 18–45. Патологии углеводного обмена отмечены у 15,2 % пациентов, среди которых 6 % находились на инсулиновой терапии, 9,2 % — на терапии метформин.

Диагностика степени выраженности ПТО. Для оценки степени выраженности ПТО использовали классификацию POP-Q [17]. Стадирование по системе POP-Q производится по наиболее дистально расположенной части влагалищной стенки (доминирующему компоненту ПТО): 1-я стадия — опущение дистального компонента более чем на 1 см выше уровня гименального кольца; 2-я стадия — опущение на расстояние менее 1 см выше и не более 1 см ниже уровня гименального кольца; 3-я стадия — опущение на расстояние ниже 1 см от уровня ги-

менального кольца, но менее 2 см от общей длины влагалища; 4-я стадия — полная эверсия (выворот) влагалища.

Общее описание медицинского вмешательства.

Для выполнения разработанной методики была использован органосберегающий хирургический подход, основанный на применении нескольких манипуляций в рамках одной трансвагинальной операции.

Объем операции: передняя и задняя кольпорафия, леваторопластика, лапароскопия, фиксация матки к апоневрозу по Казакову

Анестезия — перидуральная?

Продолжительность операции: 12–15 минут

Описание хирургических манипуляций: Комплексная хирургическая программа по лечению ПТО включала несколько этапов, комбинация которых варьировала в зависимости от пораженной анатомической области.

1. **Задняя кольпорафия:** По задней стенке влагалища выделяют треугольный лоскут от границы слизистой влагалища и кожи промежности с вершиной на 2 см ниже шейки матки. Ткани аккуратно иссекают и ушивают, накладывая на внутреннюю часть непрерывный шов, с использованием рассасывающейся нити. Границу промежности и влагалища восстанавливают узловыми шелковыми швами.
2. **Передняя кольпорафия.** На передней части влагалища производят срединный разрез вниз от уретры в направлении шейки матки. Проводят сепарацию и иссечение ромбовидного слизистого лоскута из передней стенки влагалища. Предпузырную фасцию отделяют от стенки мочевого пузыря; мышцы уретры и мочепузырного треугольника ушивают отдельными швами. Свободные края фасции накладывают друг на друга, кетгутом формируют дубликатуру. Для восстановления слизистой свободные края лоскутов сшивают, при этом захватывая переднюю губу шейки матки, чтобы придать возвышенное положение мочевому пузырю.
3. **Леваторопластика.** Операция проводится в комплексе с задней и передней кольпорафией. После произведения разреза и иссечения избыточной ткани стенки влагалища, проводится подтяжка и ушивание мышц-леваторов непрерывным швом с использованием рассасывающегося шовного материала.
4. **Лапароскопия и фиксация матки к апоневрозу по Казакову.** Введение троакар производят в стандартных точках. Разрез кожи и подкожной клетчатки осуществлялся выше лона на 1,0–1,5 см. Иглой последовательно прокалывался апоневроз, мышца передней брюшной стенки и дно

матки, оставляя внутри конец шовного материала. Затем осуществляют второй прокол, выводят внутренний конец шовного материала и закрепляют снаружи с умеренным натяжением. Таким образом, формируют П-образный шов (в 1–2 повторностях), фиксирующий тело матки к передней брюшной стенке.

Постоперационная терапия. После операции пациенткам назначался курс профилактической антибактериальной терапии, а также обезболивающие и антикоагулянтные препараты.

II. Анализ постоперационных осложнений

Наиболее действенной в лечении ПТО, в частности опущения передней стенки влагалища является хирургическая коррекция [2, 4]. При стандартном лечебно-диагностическом подходе к данной патологии рекомендовано проводить оперативное лечение в объеме передней кольпорафии, которая, к сожалению, выдает значительное количество рецидивов заболевания [18]. Наибольшая частота рецидивов пролапса имеет место у пациенток с тяжелой степенью опущения передней стенки влагалища [14]. В связи с этим мы считаем, что при выраженном ПТО для полного восстановления опорно-связочного аппарата матки и влагалища необходимо коррекция переднего, заднего и апикального компонента пролапса, в ином случае хирургическое лечение нельзя считать выполненным в полном объеме.

С нашей точки зрения наибольший вклад в минимизацию постоперационных отдаленных осложнений и рецидивов ПТО вносит комплексный подход, включающий стандартные хирургические манипуляции (кольпорафия и леваторопластика) и лапароскопия и дополнительную фиксацию матки к апоневрозу. Нами проанализированы отдаленные осложнения (в течение 5 лет), которые были диагностированы после осуществления комплексной методике хирургической коррекции ПТО, представленной в данной работе.

В целом, анализ полученных данных показал, что суммарное количество осложнений не превышает 5 %-го порога, против 25–35 %, представленных в различных литературных источниках. Рецидив пролапса тазовых органов у 2.2 % пациенток, из которых 1.7 % страдали ожирением I и II степени (ИМТ 35–40). Также было диагностировано образование свищей передней брюшной стенки у 1.7 % пациенток, из которых 1.1% находились на инсулинотерапии и имели ИМТ более 35. Закономерно отмечено, что в большей степени осложнения были выражены у пациенток из группы патологией углеводного обмена и ожирением I–II степени (20 % группы), что связано с общим нарушением трофических процессов и регенерации тканей у пациентов с заболеваниями обмена веществ.

В предложенной в данной работе комплексной методике хирургической коррекции ПТО было использовано восстановление естественными тканями, которое является преимущественным перед имплантацией сетчатых синтетических протезов или биологических трансплантатов за счет минимизации постоперационных осложнений.

Анализ литературных данных, описывающих различные способы хирургической коррекции с применением собственных, аллопластических и синтетических материалов, а также послеоперационных осложнений представляет определенные трудности, поскольку хирургическая коррекция ПТО осуществляется в разных анатомических областях, соответственно и осложнения возникают в разных анатомических зонах, от разных хирургических приёмов и используемых материалов.

Однако, согласно данным, многоцентрового исследования совокупное количество общехирургических осложнений при лечении генитального пролапса составляет 22,4 % [19], [20]. Основные осложнения (более 17.3 %) были связаны с имплантацией сетчатых синтетических протезов, в частности обструкция мочеиспускания, забрюшинные гематомы, эрозии и рубцовые деформации слизистой влагалища, протрузии и ретракция сетчатых имплантов во влагалище, хронические тазовые боли [21], [22], [23]. Реже имели место ранения крупных сосудов, мочевого пузыря или мочеиспускательного канала, кишечника, а также рецидивы ПТО при восстановлении собственными тканями [24–26]. Очевидно, что использование синтетических трансплантатов для коррекции ПТО является менее эффективной методикой, чем восстановление собственными тканями, и отказ от них может нивелировать осложнения, связанные с аутоиммунными реакциями.

Заключение

Пролапс тазовых органов (ПТО) является патологическим состоянием, характеризующимся опущением органов мочеполовой системы может оказать существенное влияние на качество жизни женщины. «Золотым стандартом» лечения ПТО является хирургическая коррекция, которая находится в постоянном процессе модификации и совершенствовании новых методов и подборе материалов. Используемый в данной работе комплексный подход направлен на одновременное устранение передний, задний и апикальный компонентов пролапса. Использование не рассасывающихся нитей уменьшает риск развития аутоиммунной реакции, возникновение пролежней подлежащих тканей по сравнению с использованием сетчатых имплантов. В целом, было отмечено минимальное количество осложнений, после комплексного лечения пролапса гениталий, что позволяет использовать данную методику далее при лечении пролапса тазовых органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Culligan PJ (2012) Nonsurgical management of pelvic organ prolapse. *Obstet Gynecol* 119:852–860.
2. Haylen BT, de Ridder D, Freeman RM, Swift SE, Berghmans B, Lee J, et al. (2010) An International Urogynecological Association (IUGA) / International Continence Society (ICS) joint report on the terminology for female pelvic floor dysfunction. *Int Urogynecol*.
3. Doaee M. et al. Management of pelvic organ prolapse and quality of life: a systematic review and meta-analysis // *International urogynecology journal*. — 2014. — Т. 25. — №. 2. — С. 153–163.
4. Maher C. et al. Surgical management of pelvic organ prolapse in women: a short version Cochrane review // *Neurourology and Urodynamics: Official Journal of the International Continence Society*. — 2008. — Т. 27. — №. 1. — С. 3–12.
5. Ramage L. et al. Magnetic resonance defecography versus clinical examination and fluoroscopy: a systematic review and meta-analysis // *Techniques in coloproctology*. — 2017. — Т. 21. — №. 12. — С. 915–927.
6. Vergeldt TF, Weemhoff M, IntHout J, Kluivers KB. Факторы риска пролапса тазовых органов и его рецидивов: систематический обзор. *Int Urogynecol J*. 2015 ноябрь; 26 (11): 1559–73.
7. Lince S.L. et al. A systematic review of clinical studies on hereditary factors in pelvic organ prolapse // *International urogynecology journal*. — 2012. — Т. 23. — №. 10. — С. 1327–1336.
8. Feiner B, Fares F, Azam N, Auslender R, David M, Abramov Y (2009) Does COL1A1 SP1— binding site polymorphism predispose women to pelvic organ prolapse? *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 20(9):1061–1065.
9. Kluivers KB, Dijkstra JR, Hendriks JC, Lince SL, Vierhout ME, van Kempen LC (2009) COL3A1 2209G > A is a predictor of pelvic organ prolapse. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 20(9):1113–1118.
10. Zenebe C.B. et al. The effect of women's body mass index on pelvic organ prolapse: a systematic review and meta analysis // *Reproductive health*. — 2021. — Т. 18. — №. 1. — С. 1–9.
11. Madhu C.K., Hashim H. Surgery for pelvic organ prolapse // *European Urology Supplements*. — 2018. — Т. 17. — №. 3. — С. 119–125.
12. Ward R.M. et al. Genetic epidemiology of pelvic organ prolapse: a systematic review // *American journal of obstetrics and gynecology*. — 2014. — Т. 211. — №. 4. — С. 326–335.
13. Краснопольский В.И., Буянова С.Н., Петрова В.Д. Комбинированное лечение больных с опущением и выпадением внутренних половых органов и недержанием мочи с применением антистрессовых технологий // *Пособие для врачей*. — М., 2003. — 41 с.
14. Кулаков В.И., Чернуха Е.А., Гус А.И. и др. Оценка состояния тазового дна после родов через естественные родовые пути. — *Акушерство и гинекология*. — 2004. — С. 26–30.
15. Hendrix S.L., Clark A., Nygaard I. et al. Pelvic organ prolapse in the Women's Health Initiative: gravity and gravidity. *Am J Obstet Gynecol* 2002;186(6):1160–6.
16. Дошани А., Тео Р.Э., Мейн С.Дж., Тинчелло Д.Г. Выпадение матки. *БМЖ*. 2007 г., 20 октября; 335 (7624): 819–23.
17. Madhu C. et al. How to use the pelvic organ prolapse quantification (POP-Q) system? // *Neurourology and urodynamics*. — 2018.
18. Гвоздев М.Ю., Тупикина Н.В., Касян Г.Р., Пушкарь Д.Ю. Проплапс тазовых органов в клинической практике врача-уролога: методические рекомендации № 3 // *Методические рекомендации*. — 2016. — №. 3. — С. 58.
19. Collins S, Lewicky-Gaupp C. Pelvic Organ Prolapse. *Gastroenterol Clin North Am*. 2022 Mar;51(1):177–193. doi: 10.1016/j.gtc.2021.10.011. Epub 2022 Jan 8. PMID: 35135661.
20. Hemming C, Constable L, Goulao B, Kilonzo M, Boyers D, Elders A, Cooper K, Smith A, Freeman R, Breeman S, McDonald A, Hagen S, Montgomery I, Norrie J, Glazener C. Surgical interventions for uterine prolapse and for vault prolapse: the two VUE RCTs. *Health Technol Assess*. 2020 Mar;24(13):1–220. doi: 10.3310/hta24130. PMID: 32138809; PMCID: PMC7086306.
21. Sung VW, Rardin CR, Raker CA, et al. Porcine subintestinal submucosal graft augmentation for rectocele repair: a randomized controlled trial. *Obstet Gynecol* 2012;119:125–133.
22. Karram M, Maher C. Surgery for posterior vaginal wall prolapse. *Int Urogynecol J* 2013;24:1835–1841.
23. Robinson MO, Linder BJ. Evaluation and treatment of pelvic organ prolapse. *Minerva Med*. 2023 Aug;114(4):516–528. doi: 10.23736/S0026-4806.22.08396-3. Epub 2023 Feb 14. PMID: 36786749.
24. Tjeldink MM, Vierhout ME, Heessakers JP, Withager MI. Surgical management of mesh-related complications after prior pelvic floor reconstructive surgery with mesh. *Int Urogynecol J*. 2011;22(11):1395–1404. doi: 10.1007/s00192-011-1476-2.
25. Theofanides MC, Onyeji I, Matulay J, et al. Safety of mesh for vaginal cystocele repair: analysis of national patient characteristics and complications. *J Urol*. 2017;198(3):632–637. doi: 10.1016/j.juro.2017.04.015.
26. Абрамян К.Н. Профилактика и лечение осложнений экстраперитонеальной вагинопексии (операции Prolift): Дис. ... канд. мед. наук. — М., 2011. — 98 с.

© Тимофеев Илья Александрович (iliya.timofeew@yandex.ru); Пономарев Владислав Викторович (pvvkmldo@gmail.com);
Артишков Виктор Валерьевич (11vik@mail.ru); Шарибова Азида Муратовна; Григорян Нона Самвеловна (nonna.Grigoryan777@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЛИМФАТИЧЕСКОГО РУСЛА ПЕРИМЕТРИЯ

AGE CHANGES IN THE PERIMETRIC LYMPHATIC BED

O. Totoeva
M. Kokoeva
A. Kaloev
M. Sarbasheva
Z. Chochieva

Summary. The peritoneum performs a number of functions related to the structural features of the circulatory and lymphatic channels of the organs. Covering the uterus, the peritoneum forms the perimeter, the lymphatic bed of which has local features throughout postnatal ontogenesis. The purpose of this study was to study the lymphatic bed of perimetry throughout postnatal ontogenesis. The lymphatic bed of the serous membrane of the uterus was studied on 25 preparations taken from corpses of different ages who died from causes not related to diseases of the pelvic organs. It has been established that involutive processes begin to manifest themselves earlier and to a greater extent in the superficial perimetric network than in the deep network, which lies in the deep collagen layer bordering the myometrium. Signs of reduction of the lymphatic bed of the perimeter were detected in earlier periods of ontogenesis, and, conversely, in old age it is not always possible to clearly detect pronounced signs of reduction of the lymphatic bed of the perimeter. These transformations determine the local characteristics of the perimetric lymphatic networks and represent an adaptive process to age-related changes in the structure of the organ.

Keywords: collagen layer, myometrium, ontogenesis, perimeter, lymphatic network, adaptive process, age-related changes in organ structure.

Тотоева Ольга Николаевна

кандидат медицинских наук, доцент,
Северо-Осетинская государственная
медицинская академия, Владикавказ
on_totoeva@mail.ru

Кокоева Марина Маратовна

Северо-Осетинская государственная
медицинская академия, Владикавказ
marina_kokoeva27@mail.ru

Калоев Азамат Батразович

Северо-Осетинская государственная
медицинская академия, Владикавказ
kaloevazam@mail.ru

Сарбашева Марзият Магомедовна

кандидат медицинских наук, доцент,
Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова, Нальчик
tatyanaakysher@yandex.ru

Чочиева Зарина Геннадьевна

Северо-Осетинская государственная
медицинская академия, Владикавказ
okazarina73@mail.ru

Аннотация. Брюшина выполняет ряд функций, связанных с особенностями строения кровеносного и лимфатического русел органов. Покрывая матку, брюшина формирует периметрий, лимфатическое русло которого имеет локальные особенности на протяжении постнатального онтогенеза. Целью настоящего исследования явилось изучение лимфатического русла периметрия на протяжении постнатального онтогенеза. Лимфатическое русло серозной оболочки матки изучено на 25 препаратах, взятых от трупов разного возраста, умерших от причин, не связанных с заболеваниями органов малого таза. Установлено, что инволютивные процессы начинают проявляться раньше и в большей степени в поверхностной сети периметрия, чем в глубокой, залегающей в глубоком коллагеновом слое, пограничном с миометрием. Признаки редукции лимфатического русла периметрия выявлялись в более ранние периоды онтогенеза, и, наоборот, в старческом возрасте далеко не всегда удается отчетливо обнаружить выраженные признаки редукции лимфатического русла периметрия. Эти преобразования определяют локальные особенности лимфатических сетей периметрия, представляют собой адаптационно-приспособительный процесс к возрастным изменениям структуры органа.

Ключевые слова: коллагеновый слой, миометрий, онтогенез, периметрий, лимфатическая сеть, адаптационно-приспособительный процесс возрастные изменения структуры органа.

Введение

Являясь серозной оболочкой и покрывая органы брюшной полости, брюшина выполняет ряд функций, связанных с особенностями строения кровеносного и лимфатического русел органов. Покрывая матку, брюшина формирует периметрий, лимфатическое русло которого имеет локальные особенности на протяжении постнатального онтогенеза. Исследование особенностей лимфоструктур периметрия может дать «ключ» к пониманию патологических процессов как в стенке матки, так и в полости таза [2, С. 68], [3, С. 133], [4, С. 200], [5, С. 142],

Цель исследования — изучение лимфатического русла периметрия на протяжении постнатального онтогенеза.

Материалы и методы

Лимфатическое русло серозной оболочки матки изучено на 25 препаратах, взятых от трупов разного возраста, умерших от причин, не связанных с заболеваниями органов малого таза. Методами интерстициальных инъекций с применением полихромных масс заполняли кровеносные и лимфатические капилляры и сосуды [11, С. 10], [12, Р. 8], [14, Р. 990].

После фиксации в формалине препараты подвергались послойному препарированию, обезвоживанию в спиртах возрастающей концентрации, просветлению в метиловом эфире салициловой кислоты. С целью изучения гистотопографии лимфатических капилляров парафиновые срезы импрегнировались по Гордон-Свиту и окрашивались гематоксилин-эозином, пикрофук-

сином, фукселином, орсеином, что позволило провести анализ качественных и количественных показателей различных тканевых и клеточных структур [1, С. 114], [7, С. 50], [13, Р. 3], [15, Р. 558].

Результаты

Исследования показали, что лимфатическая система серозной оболочки матки в первом периоде зрелого возраста имеет выраженные локальные особенности и представлена лимфатическими сосудами и двумя сетями лимфатических капилляров — поверхностной и глубокой, которые залегают на разной глубине в соединительнотканной основе периметрия [8, С. 66], [9, С. 70], [10, С. 98].

Капилляры поверхностной сети залегают в наружных слоях периметрия по ходу коллагеновых волокон, калибр неодинаков и колеблется в пределах 0,011–0,036 мм. На части капилляров определяются слепые выросты и пальцевидные выпячивания, диаметр которых нередко превышает калибр самих капилляров; на отдельных из них обнаруживаются отростки меньшего диаметра. За счёт таких выростов и расширений значительно увеличивается емкость лимфатического русла матки. Петли округлой и неправильно многоугольной формы.

Поперечные размеры лимфокапилляров глубокой сети варьируют от 0,028 до 0,068 мм. Петли ее овально-вытянутой формы. В средней части органа они не имеют определённой ориентации, а в боковых отделах ориентированы перпендикулярно к длинной оси матки. Капилляры глубокой сети образуют трёх-четырёхугольной формы лакуны, превышающие в 2–3 раза размеры капилляров (табл.).

Таблица 1.

Ширина (мм) лимфатических капилляров периметрия в постнатальном онтогенезе ($X \pm S_x$, min-max)

| Возраст лиц женского пола | передняя поверхность тела матки | | задняя поверхность тела матки | | дно | |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Поверхностная сеть | Глубокая сеть | Поверхностная сеть | Глубокая сеть | Поверхностная сеть | Глубокая сеть |
| Подростковый | 0,019±0,0008 (0,012–0,03) | 0,041±0,001 (0,033–0,058) | 0,021±0,0011 (0,012–0,03) | 0,044±0,0012 (0,035–0,058) | 0,018±0,0007 (0,015–0,03) | 0,038±0,0009 (0,03–0,046) |
| Юношеский | 0,02±0,0008 (0,012–0,03) | 0,041±0,0013 (0,035–0,058) | 0,023±0,0009 (0,015–0,031) | 0,045±0,0011 (0,035–0,059) | 0,018±0,0006 (0,015–0,023) | 0,039±0,0013 (0,033–0,059) |
| 1-й зрелый | 0,023±0,0009 (0,011–0,03) | 0,045±0,0014 (0,028–0,06) | 0,025±0,0009 (0,012–0,036) | 0,048±0,0013 (0,035–0,068) | 0,021±0,0004 (0,015–0,023) | 0,042±0,0011 (0,035–0,06) |
| 2-й зрелый 36–45 лет | 0,025±0,0008 (0,015–0,03) | 0,046±0,001 (0,03–0,06) | 0,026±0,0006 (0,019–0,03) | 0,047±0,0011 (0,038–0,069) | 0,02±0,0007 (0,015–0,03) | 0,042±0,0008 (0,038–0,06) |
| 46–55 лет | 0,021±0,0003 (0,019–0,023) | | 0,023±0,0006 (0,015–0,03) | | 0,018±0,0007 (0,012–0,023) | |
| Пожилой | 0,019±0,0002 (0,014–0,025) | | 0,021±0,0006 (0,012–0,024) | | 0,016±0,0005 (0,012–0,023) | |
| Старческий | 0,018±0,0003 (0,012–0,023) | | 0,019±0,0004 (0,012–0,025) | | 0,016±0,0005 (0,012–0,021) | |

Сеть лимфатических капилляров периметрия связана с лимфатическим руслом наружных слоёв миометрия многочисленными анастомозами. Особенно много таких в области дна и тела матки, где серозная оболочка матки прочно сращена с миометрием. В боковых же частях органа лимфатическое русло периметрия связано анастомозами с подсерозным сплетением лимфатических сосудов.

На гистологических срезах лимфокапиллярная сеть серозной оболочки матки залегает в толще самой серозной оболочки; направление её лимфатических капилляров соответствует ходу крупных пучков соединительнотканых волокон. Отдельные лимфатические капилляры и небольшие их группы залегают значительно ближе к свободной поверхности периметрия, чем остальная капиллярная сеть.

На большинстве участков периметрия путём слияния более крупных капилляров образуются лимфатические сосуды 1-го порядка калибром 0,089–0,28 мм и 2-го порядка диаметром 0,14–0,47 мм. Они направляются в глубокие слои серозной оболочки, где формируют лимфатические сосуды 3 порядка. Из подсерозного сплетения около краев матки выходят крупные внеорганные лимфатические сосуды, не только сопровождающие артерии и вены, но и образующие периваскулярные сплетения [6, С. 20].

На протяжении подросткового периода онтогенеза происходит усложнение структуры периметрия, что и определяет особенности строения его лимфатического русла. Начинает прослеживаться двуслойный характер сетей, что обусловлено формированием волокнистых слоёв периметрия. Капилляры поверхностной сети находятся на уровне поверхностных слоёв периметрия, а глубокая сеть залегает во внутренних отделах серозной оболочки матки. Однослойный характер лимфокапиллярной сети сохраняется в местах плотного сращения с миометрием — срединной полосы тела, шейки и дна матки.

В юношеском периоде онтогенеза лимфатическое русло периметрия соответствует первому периоду зрелого возраста и представлено также двумя сетями лимфатических капилляров и сплетением лимфатических сосудов. Выявляются участки с однослойным расположением лимфатических капилляров, в области дна многие из них имеют крупные слепые выросты и выпячивания, отмечается наличие большого количества мелких петель. Диаметр лимфатических капилляров поверхностной сети варьирует от 0,012 до 0,031 мм, глубокой сети — 0,033–0,059 мм.

В начале второго периода зрелого возраста, по сравнению с первым периодом, в структуре лимфатическо-

го русла периметрия существенных изменений нами не выявлено. При сохранении местами его двуслойности обнаруживаются признаки редукции преимущественно поверхностной лимфатической капиллярной сети, что выражается в уменьшении калибра капилляров (0,012–0,023 мм) (таблица №1), появлению незамкнутых петель, часть из которых выглядит деформированной. Некоторые капилляры имеют неровные контуры. К концу описываемого периода инволютивные изменения лимфатического русла выявляются как в поверхностной, так и в глубокой сети в виде неровных контуров лимфатических сосудов, участков сужений, извилистости хода капилляров. Многие петли становятся незамкнутыми, крупнопетлистыми.

В пожилом и старческом возрастах инволютивные изменения лимфатического русла периметрия заметно проявляются, распространяются на поверхностную, и на глубокую сети лимфатических капилляров. Отмечается истончение поверхностных из них, контуры трубочек неровные, сеть капилляров выглядит в виде островков, разорвана, петли ее различной формы и крупных размеров (рис. 1). Отмечается увеличение просвета капилляров, расширение и деформация петель сети. Встречаются одиночные небольшие лакуны [6].

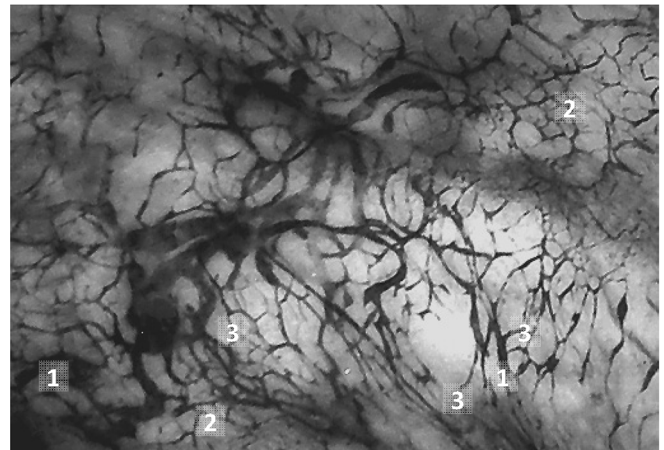


Рис. 1. Периметрий передне-боковой поверхности тела матки. Лимфатические капилляры (1) истончены, образованные ими сети представлены в виде островков (2), петли (3) крупные. Женщина, 57 лет. Просветленный препарат. Об.1, ок. 6.

Лимфатические сосуды, располагаясь вместе с глубокой капиллярной сетью на уровне глубокого коллагенового слоя, имеют неровные контуры, на стенках некоторых из них встречаются различной формы выросты, отдельные лимфатические сосуды имеют гофрированный вид (рис. 2).

В старческом возрасте практически отсутствует поверхностная лимфатическая сеть, большинство ее капилляров запустевшие, в результате чего нарушается

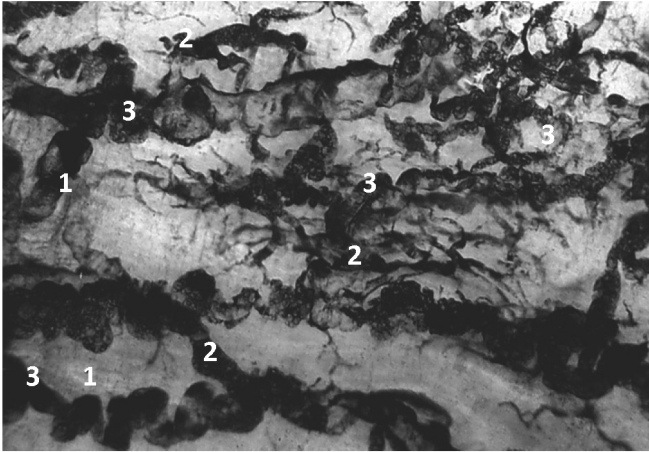


Рис. 2. Периметрий боковых отделов задней стенки матки. Лимфатические сосуды (1) имеют различной формы выросты (2), некоторые сосуды принимают гофрированный вид (3). Женщина, 71 года. Просветленный препарат. Об. 2, ок. 6.

целостность сети. В определенных участках она представлена фрагментарно (в виде островков). Заметно уменьшается количество анастомозов между капиллярами поверхностных и глубоких отделов периметрия. Глубокая сеть периметрия, в отличие от поверхностной, выявляется по всем отделам матки, петли ее зачастую

незамкнуты, сужения чередуются с расширениями. капилляры имеют извилистый ход, многие из них широкие, деформированы, оканчиваются слепо, диаметр изменяется в пределах 0,012–0,025 мм. Характерные старческие изменения выявлены и в лимфатических сосудах периметрия. На них также появляются расширения в виде мешковидных вздутий.

Выводы

Анализируя результаты наших исследований, мы отмечаем, что инволютивные процессы начинают проявляться раньше и в большей степени в поверхностной сети периметрия, чем в глубокой, залегающей в глубоком collagenовом слое, пограничном с миометрием. Нередко признаки редукции лимфатического русла периметрия выявлялись в более ранние периоды онтогенеза, и, наоборот, в старческом возрасте далеко не всегда удается отчетливо обнаружить выраженные признаки редукции лимфатического русла периметрия. Эти преобразования определяют локальные особенности лимфатических сетей периметрия и определяют не только явления старческой инволюции, но представляют собой адаптационно-приспособительный процесс на возрастные изменения структуры органа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автандилов, Г.Г. Медицинская морфометрия / Г.Г. Автандилов. — М.: Медицина, 1990 — С. 114–115.
2. Байтингер, В.Ф. История изучения лимфатической системы / В.Ф. Байтингер, А.В. Дудников, О.С. Курочкина // Вопросы реконструктивной и пластической хирургии. — 2017. — Т. 20. — № 3(62). — С. 67–73.
3. Малинин, А.А. Систематизация пороков развития лимфатической системы наружных половых органов и промежности / А.А. Малинин, С.И. Прядко, М.С. Джабаева // Сердечно-сосудистые заболевания. — 2018. — Т. 19. — № 6. — С. 133.
4. Петренко, В.М. Функциональная анатомия лимфатической системы и лимфология / В.М. Петренко // Клиническая физиология кровообращения. — 2016. — Т. 13. — № 4. — С. 197–202.
5. Сапин, М.Р. Новый взгляд на функцию лимфатической системы / М.Р. Сапин // Морфология. — 2002. — Т. 121. — № 2–3. — С. 140–143.
6. Сапин, М.Р. Лимфатическая система и ее роль в иммунных процессах / М.Р. Сапин // Морфология. — 2007. — Т. 131. — № 1. — С. 18–22.
7. Туаева, З.С. Гистотопография мышечного слоя матки на протяжении постнатального онтогенеза / З.С. Туаева, О.Н. Тотоева, З.Н. Тотоева // Журнал анатомии и гистопатологии. — 2012. — Т. 1. — № 4. — С. 49–54.
8. Тотоева, О.Н. Особенности строения эндометрия детского возраста / О.Н. Тотоева, З. С. Туаева // Владикавказский медико-биологический вестник. — 2015. — Т. 21. — № 32. — С. 63–68.
9. Тотоева О.Н. Внутриорганные связи лимфатического русла органов малого таза женщин / О.Н. Тотоева, З.С. Туаева // Единство науки, образования и практики — медицине будущего. Материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2018. — С. 68–70.
10. Тотоева, О.Н. К вопросу об особенностях лимфатического русла матки в подростковом, юношеском и первом зрелом периодах онтогенеза / О.Н. Тотоева, З.С. Туаева, А.Т. Дзгоев // Клинико-морфологические аспекты фундаментальных и прикладных научных исследований. Материалы Международной научной конференции. — Воронеж, 2023. — С. 97–99.
11. Richardson S.I. The Biological Basis of the Menopause. // Baillieres-Clin.— Endocrinol-Metab. 1993. № 7(1). p. 1–16.
12. Bhartiya D., James K. Very small embryonic-like stem cells (vsels) in adult mouse uterine perimetrium and myometrium // Journal of Ovarian Research. 2017. Т. 10. № 1. p. 1–12.
13. Inoue T., Oda K., Arimoto T. Xanthogranulomatous inflammation of the perimetrium with infiltration into the uterine myometrium in a postmenopausal woman: a case report // BMC Women's Health. 2014. Т. 14. № 1. p. 1–4.
14. Dillman J.R., Smith E.A., Morani A.C. Imaging of the pediatric peritoneum, mesentery and omentum // Pediatric Radiology. 2017. Т. 47. № 8. p. 987–1000.
15. Young V.J., Brown J.K., Saunders P.T.K. The role of the peritoneum in the pathogenesis of endometriosis // Human Reproduction Update. 2013. Т. 19. № 5. p. 558–569.

© Тотоева Ольга Николаевна (on_totoeva@mail.ru); Кокоева Марина Маратовна (marina_kokoeva27@mail.ru); Калоев Азамат Батразович (kaloevazam@mail.ru); Сарбашева Марзият Магомедовна (tatyanaakysheer@yandex.ru); Чочиева Зарина Геннадьевна (okazarina73@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

АКУСТОМЕТРИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГНОЙНО-ВОСПАЛИТЕЛЬНЫХ И ПЛАНОВЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ РАН ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВОЙ ОБЛАСТИ

ACOUSTOMETRIC DIAGNOSIS OF PURULENT-INFLAMMATORY AND SURGICAL EARLY MAXILLOFACIAL AREAS

E. Cherepanova
E. Cherepanova
N. Khelminskaya
V. Fedorova
A. Prityko
P. Voronin

Summary. The article discusses the diagnostic method of acoustic anisotropy in patients with purulent-inflammatory and elective surgical wounds of the maxillofacial region. Pathological processes occurring in the face and neck are accompanied by changes both in the skin itself and in the underlying soft tissues. The purulent-inflammatory process in combination with the classical manifestations of an inflammatory reaction directly affects the change in the elastic properties of the skin, which in turn affects the speed of propagation of surface waves during acoustics (V). Cicatricial pathological deformities are severe aesthetic and sometimes functional disorders that disfigure the appearance of a person. The etiological factors of this pathology primarily include trauma, surgical interventions, and the consequences of purulent-inflammatory diseases. Over time, in the context of increasing modernization of modern society, increased injuries also increase. The proportion of maxillofacial wounds ranges from 6–16 % of the total number of injured. Among the total number of injuries, from 9 to 28.9 % occur in the middle zone of the face and 70–90 % in the lower zone of the face [1]. Purulent-inflammatory diseases of the face and neck are one of the most common pathologies with a high frequency of observations and employment of more than 50 % of maxillofacial departments [2]. Surgical interventions in the facial area are associated not only with pathological processes, but also with aesthetic improvements in appearance [5]. Taking into account these statistics, an extremely important aspect is the timely provision of specialized care, improvement of existing diagnostic methods and timely treatment of scarring [3]. In recent decades, modern diagnostic methods, including acoustic ones, have been widely introduced into the medical practice of maxillofacial surgery and dentistry [3, 4, 6]. In acoustometry, the rate of propagation of shear disturbances is determined by the structural organization of the supramolecular level, which changes with the development of pathological processes at the stages of treatment of the patient. Early start of examination of patients and postoperative quality management of patients will improve the results of surgical treatment of patients, reduce a number of complications and accelerate the rehabilitation period.

Черепанова Екатерина Вадимовна

Аспирант, врач-стоматолог-хирург, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва;

Городская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова, Москва;

Челюстно-лицевой госпиталь для ветеранов войн, Москва;

Научно-практический центр специализированной медицинской помощи детям им. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Москва
caitlinyakamoz@gmail.com

Черепанова Елизавета Вадимовна

Кубанский Государственный Медицинский Университет; Челюстно-лицевой госпиталь для ветеранов войн, Москва

Хелминская Наталья Михайловна

доктор медицинских наук, профессор, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва;

Городская клиническая больница № 1 им. Н.И. Пирогова, Москва

Фёдорова Валентина Николаевна

доктор биологических наук, профессор, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва

Притыко Андрей Георгиевич

доктор медицинских наук, профессор, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва

Воронин Павел Анатольевич

кандидат медицинских наук, доцент, Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва;

Научно-практический центр специализированной медицинской помощи детям им. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Москва

Аннотация. В статье обсуждается диагностический метод акустической анизотропии больных с гнойно-воспалительными и плановыми хирургическими ранами челюстно-лицевой области. Патологические процессы, происходящие в области лица и шеи сопровождаются изменениями как в самой коже, так и в подлежащих мягких тканях. Гнойно-воспалительный процесс в сочетании с классическими проявлениями воспалительной реакции напрямую влияет на изменение упругих свойств кожи, что в свою очередь отражается на скорости распространения поверхностных волн при акустометрии (V). Рубцовые патологические деформации относятся к тяжелым эстетическим, а порой и функциональным нарушением, обезображивающим внешний вид человека. К этиологическим факторам данной патологии в первую очередь относятся травма, хирургические вмешательства,

Based on the above, the acoustic diagnostic method is timely and relevant in the prevention and treatment of postoperative scars in patients with purulent-inflammatory and clean surgical wounds of the face and neck [7, 8].

Keywords: acoustics, surface wave velocity, purulent-inflammatory diseases, conditionally sterile surgical wounds, hypertrophy, scars.

последствия гнойно-воспалительных заболеваний. С течением времени, в условиях повышения модернизации современного общества, возрастает и повышенный травматизм. Удельный вес челюстно-лицевых ран составляет от 6–16 % от общего числа травмированных. Среди общего количества травматизма от 9 до 28,9 % приходится на поражение средней зоны лица и 70–90 % — нижней зоны лица [1]. Гнойно-воспалительные заболевания области лица и шеи — одна из распространенных патологий с высокой частотой наблюдений и занятостью более 50 % челюстно-лицевых отделений [2]. Хирургические вмешательства в области лица связаны не только с патологическими процессами, но также с эстетическими улучшениями внешности [5]. Учитывая данную статистику, крайне важным аспектом является своевременное оказание специализированной помощи, улучшение существующих методов диагностики и своевременного лечения рубцовых изменений [3]. В течении последних десятилетий в медицинскую практику челюстно-лицевой хирургии и стоматологии широко внедряются современные методы диагностики, в том числе акустической [3, 4, 6]. При акустометрии скорость распространения сдвиговых возмущений определяется структурной организацией надмолекулярного уровня, которая изменяется при развитии патологических процессов на этапах лечения больного. Раннее начало обследования больных и послеоперационное качественное ведение пациентов позволит улучшить результаты хирургического лечения больных, сократит ряд возникающих осложнений и ускорит сроки реабилитации. Исходя из вышесказанного, метод акустической диагностики является своевременным и актуальным при профилактике и лечении послеоперационных рубцов у больных с гнойно-воспалительными и чистыми операционными ранами области лица и шеи [7,8].

Ключевые слова: акустометрия, скорость поверхностных волн, гнойно-воспалительные заболевания, условно-стерильные операционные раны, гипертрофия, рубцы.

Материалы и методы исследования

В область исследования включено 30 пациентов с повреждениями области лица и шеи. Пациенты разделены на две группы. I группу составляют 15 больных с гнойно-воспалительными заболеваниями, II группа включает в себя 15 пациентов после планового хирургического вмешательства.

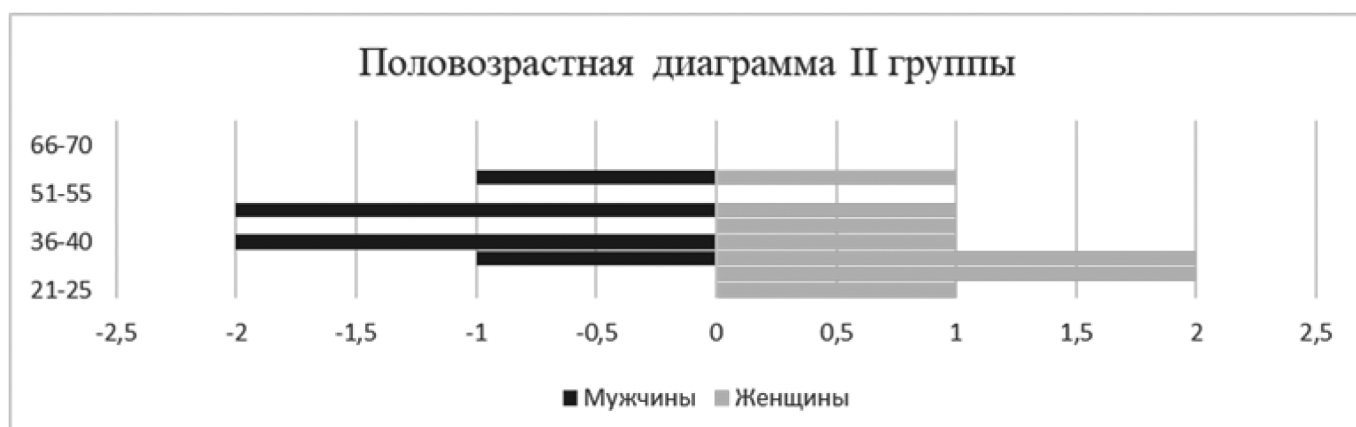
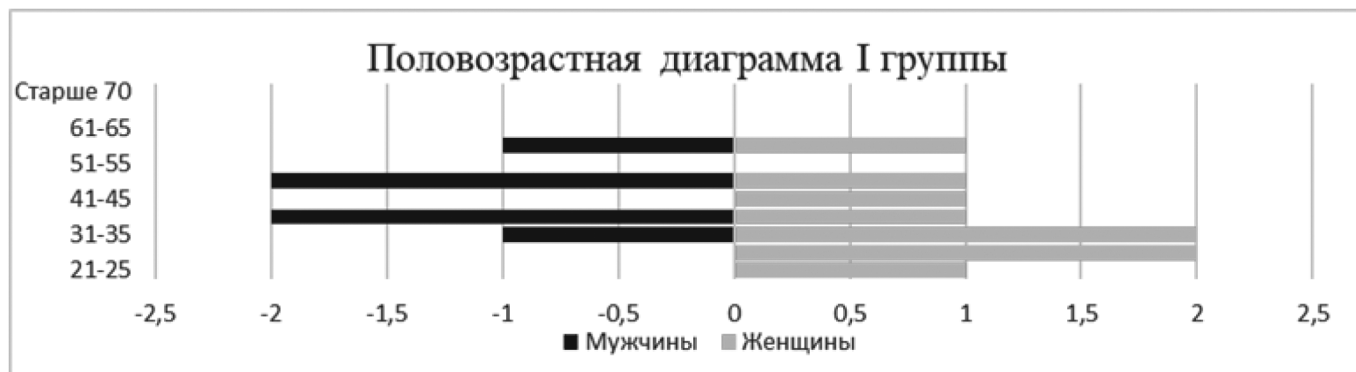
Акустическая диагностика пациентов обеих групп проведена после хирургического вмешательства. После снятия швов измерения проводили ежедневно, а затем каждые три дня.

Измеряя скорость V_n во взаимно перпендикулярных направлениях (вдоль вертикальной оси лица — V_y , вдоль горизонтальной оси лица — V_x) получен коэффициент анизотропии $K = V_y / V_x$. Также исследованы механические свойства кожи на неповрежденном участке кожи на здоровой противоположной стороны.

Представлены результаты исследования пациентов после вскрытия гнойно-воспалительного инфильтрата челюстно-лицевой области и хирургических (условно чистых ран).



Рис. 1. Пациентка О., 35 лет. Госпитализирована в ЧЛО ГБУЗ ЧЛГ для ВВ ДЗ г. Москва с диагнозом: флегмона поднижнечелюстной области слева, обострение хронического периодонтита зубов 3.6, 3.7, острый серозный лимфаденит слева



В условиях стационара под эндотрахеальным наркозом произведено вскрытие и дренирование флегмоны поднижнечелюстной области слева, удаление зубов 3.6, 3.7.

После операции предъявлены жалобы на боль, отек в области вмешательства, затрудненное открывание рта. При осмотре конфигурация лица изменена за счет коллатерального отека поднижнечелюстной области слева, определяется широкая, глубокая послеоперационная рана с гнойным отделяемым.

Спустя 2 недели состояние пациентки удовлетворительное. Местно в области операционной раны определяется гиперемия кожных покровов в области постоперационного рубца, при пальпации выявлены участки уплотнения мягких тканей. Пальпация слегка болезненна, отделяемое отсутствует. На всем этапе лечения произведено сканирование акустическим индикаторным прибором. При сканировании патологического участка коэффициент анизотропии отрицателен, что говорит о воспалительном процессе мягких тканей. С учетом результатов исследования и клинических данных, можно свидетельствовать, что формирование рубцовой ткани протекает по типу гипертрофического рубца с небольшими деструктивными изменениями в концевых отделах рубца.

Назначено консервативное лечение в виде локальной компрессионной терапии силиконовым пластырем

Meriform и нанесение геля Дерматикс наружно. Прогноз благоприятный.



Рис. 2. Пациентка О., 35 лет.

Мягкие ткани после проведенной диагностики акустическим индикаторным прибором и консервативного лечения патологического рубца на протяжении всего периода лечения. Жалобы отсутствуют. Конфигурация лица не изменена. Открывание рта свободное, безболезненное. Регионарные лимфоузлы не увеличены, безболезненны. В области вмешательства кожные покровы без признаков воспалительных явлений. Пальпация безболезненна. Отделяемое отсутствует. Состояние стабильное

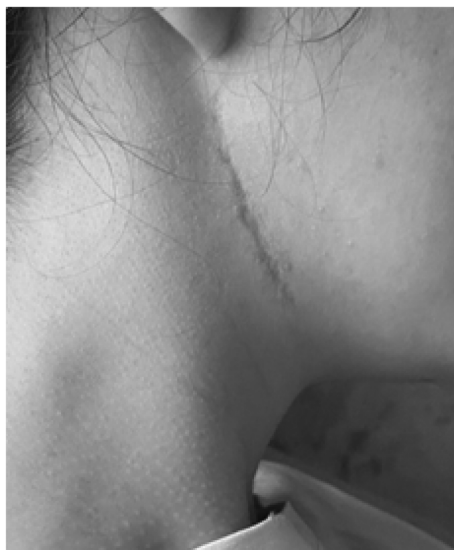


Рис. 3. Пациентка А., 28 лет.

Госпитализирована в плановом порядке в ЧЛО ЧЛГ для ВВ для проведения остеосинтеза в области угла нижней челюсти справа. В условиях стационара под эндотрахеальным наркозом произведен остеосинтез в области угла нижней челюсти. Рана ушита наглухо, дренирована. В раннем послеоперационном периоде пациентка предъявляет жалобы на гиперемию, зуд в области проведенного вмешательства. Конфигурация лица не изменена. Открывание рта ограничено, болезненное. Регионарные лимфоузлы не увеличены, безболезненны. В области вмешательства патологический рубец с единичными участками гипертрофии. Произведено снятие швов. Состояние стабильное.

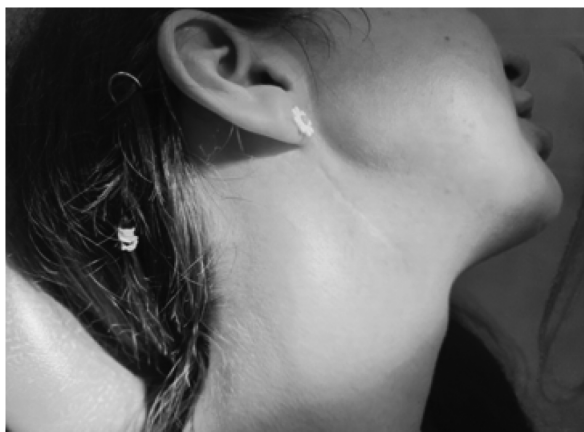


Рис. 4. Пациентка А., 28 лет.

Мягкие ткани после проведенной диагностики акустическим индикаторным прибором и консервативного лече-

ния патологического рубца на протяжении всего периода лечения. При сканировании патологического участка коэффициент анизотропии положителен, что говорит об отсутствии воспалительных процессов мягких тканей. С учетом результатов исследования и клинических данных, можно свидетельствовать, что формирование рубцовой ткани протекает по типу нормотрофического рубца

Назначено консервативное лечение в виде локальной компрессионной терапии силиконовым пластырем Meriform и нанесение геля Дерматикс наружно. Жалобы отсутствуют. Конфигурация лица не нарушена. Открывание рта свободное, безболезненное. Регионарные лимфоузлы не увеличены и безболезненны. В области вмешательства кожные покровы без признаков воспалительных явлений. Пальпация безболезненна. Отделяемое отсутствует. Состояние стабильное.

Результаты исследования

Показатели скорости акустической волны в I группе более чем в 2,5 раза превышают показатели группы II. Восстановление в послеоперационном периоде в группах развивается по-разному.

Заключение

Акустический метод диагностики мягких тканей области лица и шеи— достоверный метод функциональной оценки процесса заживления, позволяющий на ранних этапах определить тип патологического рубцевания после различных хирургических вмешательств

Вывод

- Выявлено: повышение значений скорости соответствует выраженной воспалительной реакции области раны и формирующегося рубца.
- Снижение значений скорости говорит об отсутствии воспалительных реакций в тканях.
- Акустический индикаторный прибор позволяет на ранних этапах спрогнозировать тип патологического рубцевания области лица и шеи.
- Метод акустической анизотропии консервативен и является отличным методом для профилактики возникающих осложнений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левенец А.А., Горбач Н.А., Фокас Н.Н., 2013 г. Челюстно-лицевой травматизм как социальная, экономическая и медицинская проблема.
2. Гайворонская Т.В., Шафранова С.К., Свешников Г.Г., 2017 г. Абсцессы и флегмоны челюстно-лицевой области часть I.
3. Кравец В.И. Анализ акустических свойств мягких тканей, как метод функционального контроля за состоянием первично-инфицированных, укушенных и гнойных ран челюстно-лицевой области. Дисс. канд. мед. наук. М. 2010.
4. Кравец В.И., Федорова В.Н., Притыко А.Г. Анализ акустических свойств мягких тканей как метод функционального контроля состояния ран челюстно-лицевой области и шеи // Вестник российского государственного медицинского университета, №4, 2010, с. 33–37.
5. Фаустова Е.Е., Федорова В.Н., Куликов В.А. Способ неинвазивного измерения скорости распространения акустических колебаний в эластичной ткани. Патент RU 2362487 С2 от 27. 07. 2009 г.
6. Федорова В.Н. Экспериментальное обоснование использования акустических свойств кожи и других тканей для диагностики и оценки эффективности их лечения. Дисс. докт. биол. наук. М. 1996.
7. Фаустова Е.Е. Оценка эффективности методов косметической коррекции с учетом акустических свойств кожи. Дисс. канд. мед. наук. М. 1999.
8. Федорова В.Н., Фаустова Е.Е. Акустическая биомеханика кожи и мягких тканей в объективной диагностике и оценке эффективности лечения: монография. М.: Изд. РАМН, 2018. — 200 с.

© Черепанова Екатерина Вадимовна (caitlinyakamoz@gmail.com); Черепанова Елизавета Вадимовна;
Хелминская Наталья Михайловна; Фёдорова Валентина Николаевна; Притыко Андрей Георгиевич; Воронин Павел Анатольевич
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»

ВЛИЯНИЕ ГОРМОНОВ ГИПОФИЗА И ГИПОТАЛАМУСА НА ФУНКЦИОНАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ПОЧЕК У ЖЕНЩИН

INFLUENCE OF PITUITARY AND HYPOTHALAMIC HORMONES ON FUNCTIONAL ACTIVITY OF KIDNEYS IN WOMEN

**Chasovskikh Yu.
Volkov K.
Dubrovskaya M.
Polidanov M.
Kravchenya A.
Kravchenya D.**

Summary. To date, the study of the influence of hormones on the work of the body is still a promising area. The article discusses in detail the influence of pituitary and hypothalamus hormones on the work of kidneys in women in order to find new methods of treatment and prevention of diseases of the genitourinary system. Thus, the hypothalamus secretes the hormone oxytocin, which controls the anatomo-histologic structure of renal tubules. In turn, gonadotropic hormones of the pituitary gland regulate the synthesis of estrogens, which affect the secretion of oxytocin, and tropic hormones of the pituitary gland affect the functional activity of the kidneys.

Keywords: pituitary hormones, hypothalamic hormones, renal functional activity, urogenital dysfunction, hypothalamic-pituitary system, thyroid gland, follicle-stimulating hormone, luteinizing hormone, oxytocin.

Чесовских Юлия Сергеевна

к.б.н., доцент, Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского

Волков Кирилл Андреевич

Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского
KvoLee@yandex.ru

Дубровская Марина Андреевна

Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского

Полиданов Максим Андреевич

специалист научно-исследовательского отдела,
ассистент, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург;
аспирант, Медицинский университет «Реавиз»,
г. Саратов
maksim.polidanoff@yandex.ru

Кравченя Алия Римовна

к.м.н., доцент, доцент, Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского;
врач-детский эндокринолог, ГУЗ «Саратовская
областная детская клиническая больница»

Кравченя Данила Сергеевич

Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского

Аннотация. На сегодняшний день изучение влияния гормонов на работу организма по-прежнему является перспективным направлением. В статье подробно рассматривается влияние гормонов гипофиза и гипоталамуса на работу почек у женщин с целью поиска новых методов лечения и профилактики болезней мочеполовой системы. Так, в гипоталамусе секретируется гормон окситоцин, который контролирует анатомо-гистологическую структуру канальцев почек. В свою очередь, гонадотропные гормоны гипофиза регулируют синтез эстрогенов, влияющих на секрецию окситоцина, а тропные гормоны гипофиза влияют на функциональную активность почек.

Ключевые слова: гормоны гипофиза, гормоны гипоталамуса, функциональная активность почек, мочеполовые дисфункции, гипоталамо-гипофизарная система, щитовидная железа, фолликулостимулирующий гормон, лютеинизирующий гормон, окситоцин.

Введение

Заболевания мочеполовой системы занимают 4 место в структуре всех заболеваний в Российской Федерации, более того, за последние десятилетия количество больных страдающих дисфункцией почек увеличилось в 1,6 раз [1–3]. Именно поэтому, исследование механизмов, которые контролируют деятельность почек при влиянии различных патогенных факторов, необходимо прежде всего для поиска и внедрения

в практику новых методов профилактики и лечения дисфункций мочеполовой системы. Так, почки занимают не только центральное место во всей структуре мочеполовой системы, но и являются одним из важнейших органов, который участвует в поддержании гомеостазиса. К основным функциям почек относятся: выделительная, метаболическая, защитная и инкреторная. Таким образом, почки обеспечивают стабильность объема внеклеточной жидкости и поддержание нормального уровня артериального давления [4, 5]. Процесс почечной фильтрации контролируется нейронными и гуморальными

влияниями, причем первые определяют быстрый динамический ответ на изменение потребления натрия, в то время как вторые вызывают более медленную долгосрочную модуляцию обработки натрия и воды. Активность почечных симпатических нервов возникает в результате интеграции информации от сердечно-сосудистых барорецепторов высокого и низкого давления, соматосенсорной и висцеральной систем, а также высших корковых центров. Каждая сенсорная система обеспечивает различный проход в вегетативные центры гипоталамической и медуллярной областей мозга на уровне, соответствующем выполняемой деятельности. При патофизиологических состояниях, таких как гипертензия, сердечная недостаточность и хронические заболевания почек, может происходить неадекватное симпатозовозбуждение, вызывающее задержку натрия, что усугубляет процесс заболевания. Вклад почечных симпатических нервов в сердечно-сосудистые заболевания начинает оцениваться с демонстрацией того, что денервация почек у пациентов с устойчивой гипертензией приводит к долгосрочной нормализации артериального давления [2-4].

В связи с этим, на сегодняшний день проблема патологий мочевыделительной системы занимает особое место в мировой литературе, однако, по нашему мнению, изучение механизмов возникновения дисфункций в данной системе однозначно не будет полным в должной мере без рассмотрения влияния гормонов гипофиза и гипоталамуса на функциональную активность почек.

В связи с этим, целью исследования стало изучение влияния гормонов гипофиза и гипоталамуса на функциональную активность почек у женщин.

Материалы и методы

Изучены результаты научных исследований, которые были посвящены влиянию гормонов центральных желез внутренней секреции (гипофиза и гипоталамуса) на функциональную активность почек у женщин. Для анализа использовались различные базы данных, такие как Scopus, Web of Science, MedLine, Science Direct, PubMed и eLIBRARY.ru. Поиск осуществлялся, по ключевым словам, связанным с гормональной регуляцией центральных желез внутренней секреции на функциональную активность мочевыделительной системы у женщин. В итоге было отобрано 195 статей на английском, испанском и русском языках. За последние 5 лет было опубликовано всего 13 работ, посвященных влиянию гормонов гипофиза и гипоталамуса на мочевыделительную систему у женщин. Первая публикация по этой теме уходит в 1946 год. Методы исследования включали аналитический анализ и обобщение данных.

Результаты

Гипофиз и гипоталамус играют ключевую роль в эндокринной системе. Гипофиз находится в ямке турецкого седла на основании черепа и состоит из двух частей: передней и средней долей (аденогипофиз) и задней доли (нейрогипофиз). Аденогипофиз производит гормоны, которые регулируют функцию других желез эндокринной системы. В свою очередь, особое место в гормональной регуляции деятельности почек у женщин занимают: фолликулостимулирующий гормон (ФСГ) лютеинизирующий гормон (ЛГ), а также тиреотропный гормон (тиреотропин) [5-7].

Гипоталамус представляет собой часть мозга, которая находится между зрительным перекрестом, зрительным трактом и внутренним краем ножек головного мозга, а также задним продырявленным пространством. В нем находится 32 пары ядер, которые связаны с аденогипофизом через портальную систему. Однако особое внимание привлекает гормон окситоцин. Лютеинизирующий гормон — сложный белок, состоящий из двух субъединиц α и β , соединенных дисульфидными мостиками [8].

Фолликулостимулирующий гормон — гликопротеин, состоящий из двух субъединиц α и β .

Фоллитропин и лютропин является гонадотропными гормонами передней доли гипофиза. Оба гормона контролируют рост везикулярного фолликула. Более того, фолликулостимулирующий гормон регулирует секрецию фолликулярной жидкости и стимулирует формирование оболочек, которые окружают яичник. Лютеинизирующий гормон отвечает за разрыв оболочки созревшего фолликула и, следовательно, выход из него яйцеклетки. Таким образом, данные гонадотропные гормоны реализуют образование эстрогенов — женских половых гормонов [9-10].

Эстрогены, в свою очередь, регулируют рост матки, маточных труб, влагалища, эндометрия, стимулируют развитие вторичных половых признаков у женщин. Кроме того, эстрогены принимают активное участие в эстрогензависимых реакциях синтеза гормона паравентрикулярных и супраоптических ядер гипоталамуса — окситоцина. Высвобождается данный гормон через нейрогипофиз [11-12].

Окситоцин — нонапептидный гормон, состоящий из 9 аминокислот, соединенных пептидной связью. Его структура и молекулярная масса похожи на структуру вазопрессина, отличаясь лишь в двух положениях аминокислот. В ходе различных исследований на экспериментальных животных было обнаружено, что окситоцин непосредственно влияет на анатомо-гистологическую

структуру канальцев почек: при избыточной секреции данного гормона происходит повреждение канальцев почек, которые отвечают за реабсорбцию мочи, то есть образование первичной мочи, а также обратной реабсорбции — формирование вторичной мочи [13–15]. При этом значительно увеличивается уровень креатинина и белка в моче. Данные процессы происходят в результате уменьшения скорости фильтрации крови в почках.

Тиреотропин, другой гормон передней доли гипофиза, также представляет собой гликопротеин и состоит из двух субъединиц (α и β), связанных нековалентной связью [16–18]. Тиреотропный гормон стимулирует работу протеолитических ферментов, которые влияют на расщепление тиреоглобулина и высвобождение из него тироксина (Т4) и трийодтиронина (Т3) [19,20].

Гормоны щитовидной железы необходимы для правильного роста и развития почек. Почки, являясь органом-мишенью для гормонов щитовидной железы, могут повреждаться в результате иммунного ответа, направленного против ее антигенов, или системного иммунного ответа [21, 22]. Разнообразие иммунных

клеток врожденной и адаптивной иммунной системы, включая нейтрофилы, макрофаги, дендритные клетки, Т-лимфоциты и В-лимфоциты, необходимо для поддержания иммунного гомеостаза и предотвращения аутоиммунных заболеваний почек. Недавние исследования показали, что гормон щитовидной железы играет незаменимую роль в иммунном микроокружении при различных заболеваниях почек [23, 24]. Тиреоидные гормоны регулируют активность нейтрофилов, а дендритные клетки экспрессируют рецепторы трийодтиронина.

Заключение

Таким образом, влияние гормонов гипофиза и гипоталамуса на функциональную активность почек у женщин невозможно переоценить. В результате проведенного исследования было обнаружено, что наиболее важное значение имеют фолликулостимулирующий, лютеинизирующий, тиреотропный гормоны, которые секретируются в аденогипофизе и, кроме того, гормон окситоцин, вырабатываемый в ядрах гипоталамуса. Данные гормоны контролируют функциональную деятельность почек, а также оказывают своё влияние анатомо-гистологическое строение почек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2024613673 / 04.03.2024. Заявка от 18.02.2024. Барулина М.А., Марченко В.С., Полиданов М.А., Волков К.А., Понукалин А.Н., Дурнов Д.А., Лужнов Н.А. Система предсказания прогнозирования осложнений при простатэктомии при раке предстательной железы. Ссылка активна на 05.04.2024: <https://rps.ru/EGD/a125bea5-0e3f-4e72-9fd7-331b654580f3>.
2. Кравченко А.Р., Полиданов М.А., Кондрашкин И.Е., Тяпкина Д.А., Блохин И.С., Бородай А.А., Кравченко Д.С., Мещерякова А.Ю. Врожденная дисфункция коры надпочечников у лиц мужского пола (клинический случай). Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2022; 5: 159–161.
3. Полиданов М.А., Кондрашкин И.Е., Блохин И.С., Кравченко Д.С., Ситникова К.В. Врожденная дисфункция коры надпочечников: прошлое, настоящее и будущее. В сборнике: RESEARCH LEADER 2022. сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. Петрозаводск. 2022; 65–69.
4. Благосклонная Я.В., Шляхто Е.В., Бабенко А.Ю. Эндокринология. М.: СпецЛит. 2012; 424 с.
5. Брещенко Е.Е. Биохимия. Биологически активные вещества. Витамины, ферменты, гормоны. Москва: Лань. 2022; 136 с.
6. Гайворонский И.В., Ничипорук Г.И. Функциональная анатомия эндокринной системы. СПб.: ЭЛБИ-СПб. 2009; 56 с.
7. Громнацкий Н.И. Внутренние болезни. М.: Медицинское информационное агентство. 2010; 688 с.
8. Дедов И.И., Мельниченко Г.А., Фадеев В.В. Эндокринология. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 2022; 416 с.
9. Дональд Е. Крайчик, Джон Е. Седор, Майкл Б. Ганц. Секреты нефрологии. М.: Бином, Невский Диалект. 2001; 304 с.
10. Ерофеев Н.П., Парийская Е.Н. Физиология эндокринной системы. М.: СпецЛит. 2013; 80 с.
11. Ерофеев Н.П., Парийская Е.Н. Физиология эндокринной системы. М.: СпецЛит. 2013; 80 с.
12. Лейкок Д.Ф., Вайс П.Г. Основы эндокринологии. М.: Медицина. 2000; 516 с.
13. МакДермотт Майкл Т. Секреты эндокринологии. М.: Бином. 2010; 584 с.
14. Парийская Е.Н. Физиология эндокринной системы: Санкт-Петербург: СпецЛит. 2013; 80 с.
15. Ткачук В.А. Клиническая биохимия. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2008; 264 с.
16. Фрейдович А.И. Клиническая фтизиоурология. М.: Медицина. 2002; 308 с.
17. Fliers E., Kalsbeek A., Boelen A. Beyond the fixed setpoint of the hypothalamus-pituitary-thyroid axis. Eur J Endocrinol. 2014; 171 (5): 197–208.
18. Hong G.K., Payne S.C., Jane J.A. Jr. Anatomy, Physiology, and Laboratory Evaluation of the Pituitary Gland. Otolaryngol Clin North Am. 2016; 49 (1): 21–32.
19. Houat A.P., Guimarães C.T.S., Takahashi M.S., Rodi G.P., Gasparetto T.P.D., Blasbalg R., Velloni F.G. Congenital Anomalies of the Upper Urinary Tract: A Comprehensive Review. Radiographics. 2023; 41 (2): 462–486.
20. Jamaly S., Rakaee M., Abdi R., Tsokos G.C., Fenton K.A. Interplay of immune and kidney resident cells in the formation of tertiary lymphoid structures in lupus nephritis. 2021; 20 (12): 102980.
21. Messinis I.E., Messini C.I., Dafopoulos K. Novel aspects of the endocrinology of the menstrual cycle. Reprod Biomed Online. 2014; 28(6): 714–722.
22. Niwczek O., Grymowicz M., Szczepnowicz A., Hajbos M., Kostrzak A., Budzik M., Maciejewska-Jeske M., Bala G., Smolarczyk R., Męczekalski B. Bones and Hormones: Interaction between Hormones of the Hypothalamus, Pituitary, Adipose Tissue and Bone. Int J Mol Sci. 2023; 24 (7): 6840.
23. Ortiga-Carvalho T.M., Chiamolera M.I., Pazos-Moura C.C., Wondisford F.E. Hypothalamus-pituitary-thyroid axis. Compr Physiol. 2016; 6 (3): 1387–1428.
24. Sigalos J.T., Pastuszak A.W. The Safety and Efficacy of Growth Hormone Secretagogues. Sex Med Rev. 2018; 6(1): 45–53.

Наши авторы

Ablyamitova F. — Order of the Red Banner of Labor of the S. I. Georgievsky Medical Institute

Artyushkov V. — Assistant at the Department of Obstetrics, Gynecology and perinatology FPK and PPS, candidate medical sciences, obstetrician-gynecologist highest qualification category; Obstetrician-gynecologist of the gynecological department, GBUZ Regional Clinical Hospital No. 2

Astafyev R. — Lecturer, Postgraduate student, MIREA – Russian University of Technology

Azizova G. — Order of the Red Banner of Labor of the S.I. Georgievsky Medical Institute

Babushkina P. — medical sister, Saratov State Clinical Hospital №1 named after Y.Y. Gordeev of the Ministry of Health of the Russian Federation

Balabanov A. — Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk

Barova N. — PhD, Associate Professor, Kuban State Medical University, Krasnodar

Bavokova D. — Kabardino-Balkarian State University. H.M. Berbekov, Nalchik

Beteeva M. — Dental surgeon, postgraduate student, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba

Beteeva S. — Ophthalmologist, State Budgetary Healthcare Institution "City Clinical Hospital named after V.P. Demikhova

Bitova E. — Kabardino-Balkarian State University. H.M. Berbekov, Nalchik

Borisov V. — PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Chasovskikh Yu. — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Chekanov I. — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Social University

Cherepanova E. — Kuban State Medical University; Maxillofacial Hospital for War Veterans, Moscow

Cherepanova E. — Postgraduate student, Russian National Research Medical University; dentist-surgeon, N.I. Pirogov

Our authors

Russian National Research Medical University, Moscow; N.I. Pirogov City Clinical Hospital No. 1, Moscow; Maxillofacial Hospital for War Veterans, Moscow; Scientific-V.F. Voino-Yasenetsky Practical Center for Specialized Medical Care for Children, Moscow

Chernyh L. — Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Chikrin D. — D.Sc., Kazan Federal University

Chochieva Z. — North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz

Dekanova N. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Irkutsk State Transport University

Derevyanko N. — MIREA – Russian Technological University

Dostov M. — Bauman Moscow State Technical University

Dubrovskaya M. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Fahrutdinov A. — graduate student, assistant, Kazan Federal University

Fedorova V. — Doctor of Biological Sciences, Professor, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

Filatov V. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, MIREA — Russian University of Technology

Filimonov A. — Graduate student, Russian Economic University named after G.V. Plekhanova

Forostyaniy S. — Assistant, Medical Academy named after S.I. Georgievsky

Galanina I. — Senior Lecturer, Pacific State University, Khabarovsk

Galilulin I. — Ph.D. candidate, Kazan Federal University

Gavrilenko A. — Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, D.M.S, Petrovsky National Research Centre of Surgery (Moscow)

Goncharova E. — Tambov State University named after G.R. Derzhavin

Goryachkin B. — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

Grach E. — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «MIREA — Russian Technological University»

Grigoriev Yu. — Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

Grigorova A. — PhD, Associate Professor, Kuban State Medical University, Krasnodar

Grigoryan N. — Obstetrician-gynecologist of the gynecological department, GBUZ Regional Clinical Hospital No. 2

Irza O. — Candidate of Medical Sciences, Medical Academy named after S.I. Georgievsky

Istamqulov H. — Ph.D. candidate, Khujand State University named after ac. B. Gafurov, Tajikistan

Ivankov V. — Graduate student, Russian State University of National Economy named after V.I. Vernadsky

Kaloev A. — North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz

Kharichkin A. — Peoples' Friendship University of Russia

Kharlamov P. — Research Assistant, lecturer, Smolensk branch of RANEPА; master's student, branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «National Research University «MPEI», Smolensk

Kharlamova O. — Lecturer, Smolensk Branch of RANEPА

Khelminskaya N. — Doctor of Medical Sciences, Professor, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow; N.I. Pirogov City Clinical Hospital No. 1, Moscow

Khokhlovskiy V. — Candidate of Engineering Sciences, associate professor, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Khrustalev M. — Postgraduate, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Khrustaleva I. — Candidate of Engineering Sciences, associate professor, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Kodzokov A. — Kabardino-Balkarian State University. H.M. Berbekov, Nalchik

Kokoeva M. — North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz

Kondratiev K. — Postgraduate student, «Russian New University»

Korobkova T. — Lecturer, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education SamSMU of the Ministry of Health of Russia, postgraduate student, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov»

Kotelnikova V. — Order of the Red Banner of Labor of the S.I. Georgievsky Medical Institute

Kovaleva A. — Leading labor economist, candidate, International intergovernmental organization Joint Institute for Nuclear Research

Krasnov A. — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Social University

Kravchenya A. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky; pediatric endocrinologist, Saratov Regional Children's Clinical Hospital

Kravchenya D. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Kukushkina N. — Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk

Kurelchuk A. — Medical Academy named after S.I. Georgievsky

Kuziev I. — Tambov State University named after G.R. Derzhavin

Larin I. — Bauman Moscow State Technical University

Lavrova E. — PhD (Econ.), Associate Professor, Smolensk Branch of RANEPА

Li Zhi — Postgraduate, Sechenov First Moscow State Medical University (Moscow)

Liu Yuanzhi — Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Lyashkov K. — Bauman Moscow State Technical University

Lystsev K. — Postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Russian State Social University

Markova O. — Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Martynova A. — Bauman Moscow State Technical University

Maslyakov V. — Doctor of medical sciences, professor, professor, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation; Doctor of medical sciences, professor, professor of the Department of Surgical Diseases, Saratov Medical University «Reaviz»

Mikhailov D. — Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin», Ekaterinburg

Mikhailyuk E. — Associate Professor, Candidate of Biological Sciences, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Mokhorev D. — Postgraduate student, Plekhanov Russian University of Economics

Molchanova E. — Professor, Doctor of Sciences, Irkutsk State Transport University

Mosolkova K. — Assistant, general practitioner, Tambov State University named after G.R. Derzhavin

Mustafayeva L. — Order of the Red Banner of Labor of the S.I. Georgievsky Medical Institute

Nabieva E. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation

Neprelyuk O. — Candidate of Medical Sciences, Medical Academy named after S.I. Georgievsky

Nikolenko V. — Professor, D.M.S, Head of the Department of Human Anatomy Sechenov First Moscow State Medical University (Moscow)

Osinkina T. — Ph.D. biol. Sciences, Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orenburg State Medical University» of the Ministry of Health

Ovcharenko E. — Candidate of Medical Sciences, Medical Academy named after S.I. Georgievsky

Pashin D. — D.Sc., Kazan Federal University

Pavlov B. — Assistant, endocrinologist, nutritionist, Tambov State University named after G.R. Derzhavin

Pavlovskaya A. — Moscow State Technical University named after N.E. Bauman

Pelipenko N. — Assistant, Kuban State Medical University, Krasnodar

Polidanov M. — Laboratory Technician, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation; Laboratory Technician, Saratov Medical University «Reaviz»

Ponomarev V. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor, of the Department of Obstetrics, Gynecology and Perinatology, Faculty of Advanced Training and Teaching Staff, «Kuban State Medical University» of the Ministry health care of the Russian Federation; head of the gynecological department state budgetary institution Healthcare «Regional Clinical Hospital» of the Ministry health care of the Krasnodar region

Popadyev I. — Pacific State University, Khabarovsk

Potekhina A. — Graduate student, Irkutsk State Transport University

Prityko A. — Doctor of Medical Sciences, Professor, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

Rakhimov I. — MIREA – Russian Technological University

Rastanina N. — Associate Professor, Pacific State University, Khabarovsk

Rusakov A. — Senior Lecturer, MIREA — Russian University of Technology

Sarbasheva M. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Kabardino-Balkarian State University named after HM. Berbekova, Nalchik

Severinova S. — Candidate of Medical Sciences, Medical Academy named after S.I. Georgievsky

Sharibova A. — Obstetrician-gynecologist of the gynecological department, GBUZ Regional Clinical Hospital No. 2

Shkodyrev V. — Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University

Shugushkhova M. — Kabardino-Balkarian State University. HM. Berbekov, Nalchik

Skobeleva A. — Assistant, general practitioner, Tambov State University named after G.R. Derzhavin

Solovyova V. — MIREA – Russian Technological University

Staroverov I. — Senior Lecturer, Russian Technological University (MIREA), Moscow

Stryukovsky A. — PhD, Associate Professor, Kuban State Medical University, Krasnodar

Sukasyan E. — Order of the Red Banner of Labor of the S.I. Georgievsky Medical Institute

Sun Hui — Baltic State Technical University «Voenmeh» D.F. Ustinov

Teuvov A. — Candidate of medical Sciences, associate Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik

Timofeev I. — Obstetrician-gynecologist gynecological departments, GBUZ Regional Clinical Hospital No. 2.

Tohchukova A. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky of the Ministry of Health of the Russian Federation

Totoeva O. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, North Ossetian State Medical Academy, Vladikavkaz

Usacheva E. — medical sister, Saratov Regional Clinical Skin and Venereological Dispensary of the Ministry of Health of the Russian Federation

Vanina O. — Senior Lecturer, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Velichko T. — Associate Professor, Candidate of Biological Sciences, Bauman Moscow State Technical University, Moscow

Volkov K. — Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky

Vorobyov I. — MIREA – Russian Technological University

Voronin P. — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow; V.F. Voino-Yasenetsky Scientific and Practical Center for Specialized Medical Care for Children, Moscow

Voronkin E. — senior lecturer, Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk

Zaderenko I. — Doctor of Medical Sciences, Professor, Senior Researcher, Oncology Department of Surgical Treatment Methods No. 10 (head and neck tumors) NIIKO Federal State Budgetary Institution National Medical Research Center of Oncology named after N.N. Blokhin of the Ministry of Health of Russia

Zamyatin V. — Graduate student, Irkutsk State Transport University

Zhuang Xintong — Saint-Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics

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).