

ISSN 2077-6810

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ

SCIENCE PROSPECTS

№ 8(203).2026.

Главный редактор

Воронкова О.В.

Редакционная коллегия:

Шувалов В.А.

Алтухов А.И.

Воронкова О.В.

Омар Ларук

Тютюнник В.М.

Беднаржевский С.С.

Чамсутдинов Н.У.

Петренко С.В.

Леванова Е.А.

Осипенко С.Т.

Надточий И.О.

Ду Кунь

У Сунцзе

Даукаев А.А.

Дривотин О.И.

Запивалов Н.П.

Пухаренко Ю.В.

Пеньков В.Б.

Джаманбалин К.К.

Даниловский А.Г.

Иванченко А.А.

Шадрин А.Б.

Снежко В.Л.

Левшина В.В.

Мельникова С.И.

Артюх А.А.

Лифинцева А.А.

Попова Н.В.

Серых А.Б.

Учредитель

**Межрегиональная общественная организация
«Фонд развития науки и культуры»**

В ЭТОМ НОМЕРЕ:

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:

Системный анализ, управление

и обработка информации

Автоматизация и управление

Математическое моделирование

и численные методы

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА:

Строительные конструкции,

здания и сооружения

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ:

Теория и методика обучения

и воспитания

Профессиональное образование

ТАМБОВ 2026

Журнал «Перспективы науки»
зарегистрирован
Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ФС77-37899 от 29.10.2009 г.

Учредитель
Межрегиональная общественная
организация «Фонд развития науки
и культуры»

Журнал «Перспективы науки» входит в
перечень ВАК ведущих рецензируемых
научных журналов и изданий, в которых
должны быть опубликованы основные
научные результаты диссертации на
соискание ученой степени доктора
и кандидата наук

Главный редактор
О.В. Воронкова

Технический редактор
М.Г. Карина

Редактор иностранного
перевода
Н.А. Гунина

Инженер по компьютерному
макетированию
М.Г. Карина

**Адрес издателя, редакции,
типографии:**
392020, Тамбовская область,
г.о. город Тамбов, г. Тамбов,
ул. Советская, д. 160, кв. 10

Телефон:
8(4752)71-14-18

E-mail:
journal@moofrnk.com

На сайте
<http://moofrnk.com/>
размещена полнотекстовая
версия журнала

Информация об опубликованных
статьях регулярно предоставляется
в систему Российского индекса научного
цитирования (договор № 31-12/09)

Импакт-фактор РИНЦ: 0,528

Экспертный совет журнала

Шуvalов Владимир Анатольевич – доктор биологических наук, академик, директор Института фундаментальных проблем биологии РАН, член президиума РАН, член президиума Пущинского научного центра РАН; тел.: +7(496)773-36-01; E-mail: shuvalov@issp.serphukhov.su

Алтухов Анатолий Иванович – доктор экономических наук, профессор, академик-секретарь Отделения экономики и земельных отношений, член-корреспондент Российской академии сельскохозяйственных наук; тел.: +7(495)124-80-74; E-mail: otdeconomika@yandex.ru

Воронкова Ольга Васильевна – доктор экономических наук, профессор, главный редактор, председатель редколлегии, академик РАЕН, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(981)972-09-93; E-mail: journal@moofrnk.com

Омар Ларук – доктор филологических наук, доцент Национальной школы информатики и библиотек Университета Лиона; тел.: +7(912)789-00-32; E-mail: omar.larouk@enssib.fr

Тютюнник Вячеслав Михайлович – доктор технических наук, кандидат химических наук, профессор, директор Тамбовского филиала Московского государственного университета культуры и искусств, президент Международного Информационного Нобелевского Центра, академик РАЕН; тел.: +7(4752)50-46-00; E-mail: vmt@tmb.ru

Беднаржевский Сергей Станиславович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности» Сургутского государственного университета, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, академик РАЕН и Международной энергетической академии; тел.: +7(3462)76-28-12; E-mail: sbed@mail.ru

Чамсутдинов Наби Уматович – доктор медицинских наук, профессор кафедры факультетской терапии Дагестанской государственной медицинской академии МЗ СР РФ, член-корреспондент РАЕН, заместитель руководителя Дагестанского отделения Российского Респираторного общества; тел.: +7(928)965-53-49; E-mail: nauchdoc@rambler.ru

Петренко Сергей Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математические методы в экономике» Липецкого государственного педагогического университета, г. Липецк; тел.: +7(4742)32-84-36, +7(4742)22-19-83; E-mail: viola@lipetsk.ru, viola349650@yandex.ru

Леванова Елена Александровна – доктор педагогических наук, профессор кафедры социальной педагогики и психологии, декан факультета переподготовки кадров по практической психологии, декан факультета педагогики и психологии Московского социально-педагогического института; тел.: +7(495)607-41-86, +7(495)607-45-13; E-mail: dekanmospi@mail.ru

Осипенко Сергей Тихонович – кандидат юридических наук, член Адвокатской палаты, доцент кафедры гражданского и предпринимательского права Российского государственного института интеллектуальной собственности; тел.: +7(495)642-30-09, +7(903)557-04-92; E-mail: a.setios@setios.ru

Надточий Игорь Олегович – доктор философских наук, доцент, заведующий кафедрой «Философия» Воронежской государственной лесотехнической академии; тел.: +7(4732)53-70-70, +7(4732)35-22-63; E-mail: in-ad@yandex.ru

Ду Кунь – кандидат экономических наук, доцент кафедры управления и развития сельского хозяйства Института кооперации Циндаоского аграрного университета, г. Циндао (Китай); тел.: +7(960)667-15-87; E-mail: tambovdu@hotmail.com

Экспертный совет журнала

У Сунцзе – кандидат экономических наук, преподаватель Шаньдунского педагогического университета, г. Шаньдун (Китай); тел.: +86(130)21696101; E-mail: qdwucong@hotmail.com

Даукаев Арун Абалханович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геологии и минерального сырья КНИИ РАН, профессор кафедры «Физическая география и ландшафтоведение» Чеченского государственного университета, г. Грозный (Чеченская Республика); тел.: +7(928)782-89-40

Дривотин Олег Игоревич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры теории систем управления электрофизической аппаратурой Санкт-Петербургского государственного университета, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(812)428-47-29; E-mail: drivotin@yandex.ru

Запывалов Николай Петрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, академик РАЕН, заслуженный геолог СССР, главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск; тел.: +7(383) 333-28-95; E-mail: ZapivalovNP@ipgg.sbras.ru

Пухаренко Юрий Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, член-корреспондент РААСН, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(921)324-59-08; E-mail: tsik@spbgasu.ru

Пеньков Виктор Борисович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Математические методы в экономике» Липецкого государственного педагогического университета, г. Липецк; тел.: +7(920)240-36-19; E-mail: vbpenkov@mail.ru

Джаманбаалин Кадыргали Коныспаевич – доктор физико-математических наук, профессор, ректор Костанайского социально-технического университета имени академика Зулкарнай Алдамжар, г. Костанай (Республика Казахстан); E-mail: pkkstu@mail.ru

Даниловский Алексей Глебович – доктор технических наук, профессор кафедры судовых энергетических установок, систем и оборудования Санкт-Петербургского государственного морского технического университета, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(812)714-29-49; E-mail: agdanilovskij@mail.ru

Иванченко Александр Андреевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(812)748-96-61; E-mail: IvanchenkoAA@gumrf.ru

Шадрин Александр Борисович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания и автоматики судовых энергетических установок Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(812)321-37-34; E-mail: abshadrin@yandex.ru

Снежко Вера Леонидовна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные технологии в строительстве» Московского государственного университета природообустройства, г. Москва; тел.: +7(495)153-97-66, +7(495)153-97-57; E-mail: VL_Snejko@mail.ru

Левшина Виолетта Витальевна – доктор технических наук, профессор кафедры «Управление качеством и математические методы экономики» Сибирского государственного технологического университета, г. Красноярск; E-mail: violetta@sibstu.krasnoyarsk.ru

Мельникова Светлана Ивановна – доктор искусствоведения, профессор, заведующий кафедрой драматургии и киноведения Института экранных искусств Санкт-Петербургского государственного университета кино и телевидения, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(911)925-00-31; E-mail: s-melnikova@list.ru

Артюх Анжелика Александровна – доктор искусствоведения, профессор кафедры драматургии и киноведения Санкт-Петербургского государственного университета кино и телевидения, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(911)925-00-31; E-mail: s-melnikova@list.ru

Лифинцева Алла Александровна – доктор психологических наук, доцент Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, г. Калининград; E-mail: aalifintseva@gmail.com

Попова Нина Васильевна – доктор педагогических наук, профессор кафедры лингвистики и межкультурной коммуникации Гуманитарного института Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, г. Санкт-Петербург; тел.: +7(950)029-22-57; E-mail: ninavaspo@mail.ru

Серых Анна Борисовна – доктор педагогических наук, доктор психологических наук, профессор, заведующий кафедрой специальных психолого-педагогических дисциплин Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта, г. Калининград; тел.: +7(911)451-10-91; E-mail: serykh@baltnet.ru

Содержание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Системный анализ, управление и обработка информации

Александров В.О., Портнов Е.М. Метод повышения быстродействия процессов межсерверной передачи данных.....	8
Борзых Н.Ю. Математическая модель и алгоритм многокритериальной оптимизации распределения задач в проектных командах с учетом стиля работы сотрудников.....	13
Брагин А.С., Кокорева Е.В. Применение протокола LoRaWAN для позиционирования мобильного абонента.....	22
Воронин Э.С., Дорогов В.Г. Разработка методики предиктивного анализа аномалий в системах мониторинга.....	28
Жаравин Д.Е., Суконщиков А.А. Сравнительный анализ методов обучения модели классификации текстовых запросов в системе технической поддержки на малых выборках.....	32
Зубарев М.А., Нуйя О.С. Нейро-нечеткое управление гибридным энергокомплексом на основе ANFIS 4×MISO с отказоустойчивостью к потере входов.....	37
Комашинский В.В., Комашинский Т.В. Комплексное применение методов нечеткой логики в адаптивных контекстно-зависимых информационно-управляющих системах.....	51
Комашинский В.В., Комашинский Т.В. Применение методов нейросетевого управления на основе графовых нейронных сетей в адаптивных контекстно-зависимых информационно-управляющих системах.....	56
Константинов Е.С., Кочетков А.А. Особенности построения метрик и моделей подсистем оценки полноты и согласованности временных потоковых данных в системах хранения больших данных.....	61
Коробко С.С., Рахимкулов З.М., Портнов Е.М. Разработка метода ускоренного предиктивного анализа финансовых показателей на основе математической статистики.....	69
Куприянов В.В., Ефанова Н.В. Интеграция методов идентификации и верификации транспортных средств в систему управления доступом: оптимизация процессов для промышленных предприятий.....	74
Курилова Л.В., Корнева И.С., Дорогова Е.Г. Разработка математической модели задачи определения характеристик объекта по текстовому описанию.....	79
Лобанов А.В., Пысин М.Д., Кольцова Э.М., Архипов А.М. Проектирование распределенной экосистемы передачи данных для системы автоматизированного проектирования химико-технологических схем.....	84
Мантуров А.О., Пабияха М.С. Автоматизация документооборота в юридической деятельности.....	89
Петров Г.Б., Бадертдинов И.Р. Системная модель обработки аварийных событий в распределенной сети котельных на основе жизненного цикла инцидента.....	94

Автоматизация и управление

Иванов Н.А., Шайдинов Ш.Ж., Шифрин Б.М., Елисеев И.В. Многоконтурное нечеткое регулирование процесса горячего прессования при производстве фанеры.....	99
Кравцов М.А., Муталибов Р.Н., Петренко Е.О. Применение искусственного интеллекта и акторной модели в распределенных системах управления для адаптивной маршрутизации и оптимизации трафика. Часть 1. Постановка проблемы и обзор существующих подходов...108	108
Соинов С.А., Радионов А.А. Анализ методов и алгоритмов построения цифровых двойников киберфизических производственных систем.....	115

Содержание

Тимофеев М.А. Стратегия снижения ручной доработки пространственных данных за счет автоматизированных процедур валидации и анализа аномалий	121
Федькин П.С., Макшанов А.В. Эмпирическое разложение мод и глубокое обучение в диагностике солнечных панелей: современное состояние и перспективы	126
Чесалов А.Ю. Актуальные задачи промышленной автоматизации в условиях неопределенности экономики данных	132

Математическое моделирование и численные методы

Андросов А.С., Шарый С.П. Условная оптимизация распознающих функционалов для интервальных систем уравнений	138
---	-----

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

Строительные конструкции, здания и сооружения

Чеповский И.Г. Способы подбора марок сталей для различных сред эксплуатации.....	152
---	-----

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Теория и методика обучения и воспитания

Анохин А.Н. Спортивный туризм как средство подготовки обучающихся к службе в армии.....	157
Ван Фэй, Чжань Шубо Исследование практических путей и построение модели брендовых учебных курсов по музыкальному нематериальному культурному наследию для вузов провинции Хэйлуцзян	161
Васильев Е.А., Олесова А.П. Роль региональных текстов в формировании у обучающихся лингвокраеведческой компетенции на уроках русского языка.....	165
Леонова А.А., Загузова С.А. Спортивно-оздоровительная деятельность для детей с ограниченными возможностями здоровья.....	170
Медведев А.В., Северин С.Н., Финикова О.В., Фесенко Д.В. Обучение курсантов образовательных организаций МВД России огневой подготовке с использованием средств виртуальной реальности	175

Профессиональное образование

Вельдина Ю.В., Ясаревская О.Н., Вольникова Е.А. Влияние образовательной системы Moodle на учебную автономию и учебные мотивы студентов ПензГТУ в процессе изучения иностранного языка.....	179
Дятлова Р.И., Нанай Ф.А. Применение технологии «Перевернутый класс» в организации внеаудиторной работы студентов.....	183
Заряев С.В., Остапенко В.С. Технологическое обеспечение подготовки специалистов военно-политических органов в военном вузе.....	188
Oreshina E.E., Moliboga G.L., Logina T.V. Teaching Russian as a Foreign Language at a Medical University: Developing Professional Communicative Competence in International Students	193
Сунь Лэй, Чан Вэньшуо, Чжан Кунь Формирование профессиональной компетентности начинающих фермеров: организационно-методическое сопровождение специалистами в сфере новых медиа в системе партнерства «вуз – муниципалитет»	197

Contents

INFORMATION TECHNOLOGY

System Analysis, Control and Information Processing

Alexandrov V.O., Portnov E.M. A Method for Improving the Speed of Cross-Server Data Transfer Processes.....	8
Borzykh N.Yu. A Mathematical Model and an Algorithm for Multi-Criteria Optimization of Task Distribution in Project Teams Regarding the Work Style of Employees.....	13
Bragin A.S., Kokoreva E.V. Using the LoRaWAN Protocol for Mobile Subscriber Positioning.....	22
Voronin E.S., Dorogov V.G. Development of a Methodology for Predictive Analysis of Anomalies in Monitoring Systems.....	28
Zharavin D.E., Sukonshchikov A.A. A Comparative Analysis of Training Methods for the Text Query Classification Model in the Technical Support System on Small Samples.....	32
Zubarev M.A., Nuya O.S. Neuro-fuzzy Control of a Hybrid Energy Complex Based on ANFIS 4×MISO with Fault Tolerance Against Input Loss.....	37
Komashinsky V.V., Komashinsky T.V. Complex Application of Fuzzy Logic Methods in Adaptive Context-Sensitive Information and Control Systems.....	51
Komashinsky V.V., Komashinsky T.V. Application of Neural Network Management Methods Based on Graph Neural Networks in Adaptive Context-Sensitive Information Management Systems.....	56
Konstantinov E.S., Kochetkov A.A. Features of Building Metrics and Models of Subsystems for Evaluating Completeness and Consistency of Temporary Streaming Data in Big Data Storage Systems.....	61
Korobko S.S., Rakhimkulov Z.M., Portnov E.M. Development of a Method for Accelerated Predictive Analysis of Financial Indicators Based on Mathematical Statistics.....	69
Kupriyanov V.V., Efanova N.V. Integration of Vehicle Identification and Verification Methods into the Access Control System: Process Optimization for Industrial Enterprises.....	74
Kurilova L.V., Korneva I.S., Dorogova E.G. Development of a Mathematical Model of the Problem of Determining the Characteristics of an Object Based on a Text Description.....	79
Lobanov A.V., Pysin M.D., Koltsova E.M., Arkhipov A.M. Designing a Distributed Data Transmission Ecosystem for a Computer-Aided Design of Chemical and Technological Schemes.....	84
Manturov A.O., Pabiyakha M.S. Automation of Document Flow in Legal Activity.....	89
Petrov G.B., Badertdinov I.R. System Model for Handling Emergency Events in a Distributed Boiler House Network Based on the Incident Lifecycle.....	94

Automation and Control

Ivanov N.A., Shaydinov Sh.Zh., Shifrin B.M., Eliseev I.V. Multi-Circuit Fuzzy Control of the Hot-Pressing Process in Plywood Production.....	99
Kravtsov M.A., Mutalibov R.N., Petrenko E.O. Application of Artificial Intelligence and the Actor Model in Distributed Control Systems for Adaptive Routing and Traffic Optimization. Part 1. Problem Statement and Review of Existing Approaches.....	108
Soinov S.A., Radionov A.A. The Analysis of Methods and Algorithms for Constructing Digital Twins of Cyberphysical Production Systems.....	115
Timofeev M.A. A Strategy for Reducing Manual Refinement of Spatial Data through Automated Validation and Anomaly Analysis Procedures.....	121

Contents

Fedkin P.S., Makshanov A.V. Empirical Mode Decomposition and Deep Learning in Solar Panel Diagnostics: State of the Art and Prospects	126
Chesalov A.Yu. Current Problems of Industrial Automation in the Context of Data Economy Uncertainty	132

Mathematical Modeling and Numerical Methods

Androsov A.S., Shary S.P. Conditional Optimization of Recognition Functionals for Interval Systems of Equations	138
--	-----

CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Building Structures, Buildings and Structures

Chepovsky I.G. Methods for Selecting Steel Grades for Different Operating Environments	152
---	-----

PEDAGOGICAL SCIENCES

Theory and Methods of Training and Education

Anokhin A.N. Sports Tourism as a Means of Preparing Students for Military Service	157
Wang Fei, Zhan Shubo A Study of Practical Ways and Building a Model of Branded Training Courses on Musical Intangible Cultural Heritage for Heilongjiang Province Universities	161
Vasiliev E.A., Olesova A.P. The Role of Regional Texts in the Formation of Students' Regional Linguistics Competence in Russian Language Lessons.....	165
Leonova A.A., Zaguzova S.A. Sports and Recreation Activities for Children with Disabilities	170
Medvedev A.V., Severin S.N., Finikova O.V., Fesenko D.V. Training Cadets of Educational Organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia in Fire Training Using Virtual Reality Tools	175

Professional Education

Veldina Yu.V., Yasarevskaya O.N., Volnikova E.A. Influence of the Moodle Educational System on the Educational Autonomy and Learning Motives of Penza State Technical University Students in the Process of Learning a Foreign Language.....	179
Dyatlova R.I., Nanai F.A. Application of the “Flipped Classroom” Technology in the Organization of Extracurricular Work of Students	183
Zaryaev S.V., Ostapenko V.S. Technological Support for the Training of Specialists of Military-Political Bodies in a Military University	188
Орешина Е.Е., Молибога Г.Л., Логина Т.В. Преподавание русского языка как иностранного в медицинском вузе: формирование профессиональной коммуникативной компетенции у иностранных студентов.....	193
Sun Lei, Chang Wenshuo, Zhang Kun Formation of Professional Competence of Novice Farmers: Organizational and Methodological Support by Specialists in the Field of New Media in the “University – Municipality” Partnership System.....	197

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ ПРОЦЕССОВ МЕЖСЕРВЕРНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

В.О. АЛЕКСАНДРОВ, Е.М. ПОРТНОВ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: межсерверная передача данных; защищенные системы; быстродействие; служебное сообщение.

Аннотация: В статье исследуются проблемы защищенной межсерверной передачи данных между двумя узлами в сетевых соединениях, используемых для регулярного обмена файлами и служебной информацией. Цель работы заключается в разработке и программной реализации алгоритма определения режима использования защищенного соединения, параметров межсерверной передачи данных и возобновления передачи после сбоя. Разработан механизм выбора режима соединения, учитывающий наличие активного канала, доступность корректного состояния для возобновления, пригодность текущего служебного состояния и ожидаемые временные затраты по каждому допустимому варианту. Гипотеза исследования состоит в том, что для корректного выбора режима необходимо учитывать пригодность текущего соединения к дальнейшему использованию, актуальность данных возобновления, соответствие состояния канала новой задаче передачи и ожидаемые временные затраты для каждого допустимого варианта. Разработан алгоритм выбора режима защищенного соединения, использующий три возможных сценария работы: полное установление нового соединения, возобновление ранее подготовленной сессии и повторное использование уже активного защищенного канала. Предложенный алгоритм обеспечивает практический выигрыш по времени относительно существующих средств *SCP*, *SFTP* и *rsync* через *SSH*.

Проблема исследования состоит в том, что существующие средства защищенной передачи данных широко применяются в реальных системах и обеспечивают необходимый уровень защиты. Однако данные решения в основном ориентированы на универсальные сценарии использования и, как правило, не учитывают специфику регулярного обмена между фиксированной парой серверов. Это приводит к дополнительным накладным расходам на многократное установление и завершение защищенного соединения, к недостаточно гибкому выбору режима передачи в зависимости от состояния канала и характеристик задачи, а также к отсутствию специализированного механизма продолжения передачи после сетевого сбоя. Цель настоящей работы заключается в исследовании и разработке методов повышения быстродействия процессов межсерверной передачи данных.

Одним из ключевых этапов защищенной межсерверной передачи данных является установление защищенного соединения между серверами. Именно на этом этапе формируется доверенная среда обмена, выполняются аутентификация сторон, согласование криптографических параметров, обмен ключевым материалом и подготовка канала к передаче полезных данных. Для задач регулярного межсерверного обмена данный этап имеет принципиальное значение, поскольку при многократных сеансах передачи суммарные временные затраты на подготовку защищенного канала могут составлять заметную долю общего времени выполнения всей задачи. Поэтому для последующей разработки алгоритма выбора режима соединения необходимо получить формализованное описание времени установления защищенного соединения с учетом сетевых, вычислительных и протокольных факторов.

Под временем установления защищенного соединения понимается промежуток времени от момента начала процедуры подготовки канала до момента, когда стороны могут приступить к передаче полезных данных в защищенном режиме. Математическая модель установления защищенного соединения должна учитывать не один фиксированный сценарий, а несколько режимов подготовки канала. Для i -й задачи введем режим защищенного соединения h_i , который принимает одно из трех значений: $h_i = \{full, resume, reuse\}$, где $h_i = full$ – полное установление нового защищенного соединения; $h_i = resume$ – возобновление ранее подготовленной сессии; $h_i = reuse$ – повторное использование уже активного защищенного канала.

Для формализации времени установления защищенного соединения примем, что оно складывается из четырех основных компонентов: времени, связанного с сетевыми задержками обмена служебными сообщениями; времени передачи служебных данных по каналу; времени аутентификации и проверки подлинности сторон; времени вычислений, связанных с обменом ключами и подготовкой криптографического состояния сеанса. Тогда время установления защищенного соединения для i -й задачи в режиме h_i запишется:

$$T_i^{conn}(h_i) = T_i^{rtt}(h_i) + T_i^{svc}(h_i) + T_i^{auth}(h_i) + T_i^{kex}(h_i).$$

Здесь:

$$T_i^{rtt}(h_i) = k(h_i)\tau_i, \quad T_i^{svc}(h_i) = \frac{D_i^{svc}(h_i)}{R_i},$$

где $k(h_i)$ – число RTT -обменов, необходимых для выбранного режима соединения, τ_i – среднее значение RTT для канала связи; $D_i^{svc}(h_i)$ – объем служебных данных, передаваемых на этапе установления соединения; R_i – доступная пропускная способность канала.

Тогда основная формула времени установления принимает вид:

$$T_i^{conn}(h_i) = k(h_i)\tau_i + \frac{D_i^{svc}(h_i)}{R_i} + t_i^{auth}(h_i) + t_i^{kex}(h_i).$$

Первая составляющая $T_i^{rtt}(h_i) = k(h_i)\tau_i$ отражает задержки, вызванные самим фактом многократного обмена служебными сообщениями

между серверами. Величина τ_i задает среднее время прохождения одного цикла «запрос-ответ» между узлами. Количество таких циклов зависит от выбранного режима подготовки соединения. Определим число RTT как:

$$k(h_i) = \begin{cases} 1, & h_i = full \\ 1, & h_i = resume \\ 0, & h_i = reuse \end{cases}.$$

При полном установлении соединения и при возобновлении сессии учитывается один сетевой цикл обмена, а при повторном использовании активного канала дополнительный RTT не требуется. Время, необходимое для передачи по каналу служебных сообщений, участвующих в установлении соединения, определяется как:

$$T_i^{svc}(h_i) = \frac{D_i^{svc}(h_i)}{R_i}.$$

Под служебными данными понимаются сообщения *handshake*-процедуры: *hello*-сообщения, сертификаты, сообщения подтверждения, *session tickets*, *keepalive*-информация и иные метаданные, необходимые для подготовки защищенного канала.

Для полного установления соединения время, необходимое для аутентификации сторон и проверки подлинности полученных служебных данных, данный компонент может включать проверку сертификатной цепочки, проверку цифровых подписей, анализ срока действия служебных данных и дополнительные процедуры локальной верификации. При возобновлении сессии набор таких операций сокращается, поскольку часть информации уже была подтверждена ранее. При повторном использовании активного канала компонент аутентификации может быть минимальным и сводиться к проверке актуальности состояния сеанса.

Величину $T_i^{auth}(h_i)$ можно представить как сумму отдельных этапов:

$$T_i^{auth}(h_i) = t_i^{cert}(h_i) + t_i^{sign}(h_i) + t_i^{state}(h_i),$$

где $t_i^{cert}(h_i)$ – время обработки сертификатной информации, $t_i^{sign}(h_i)$ – время проверки цифровых подписей, $t_i^{state}(h_i)$ – время проверки актуальности служебного состояния сеанса. Тогда

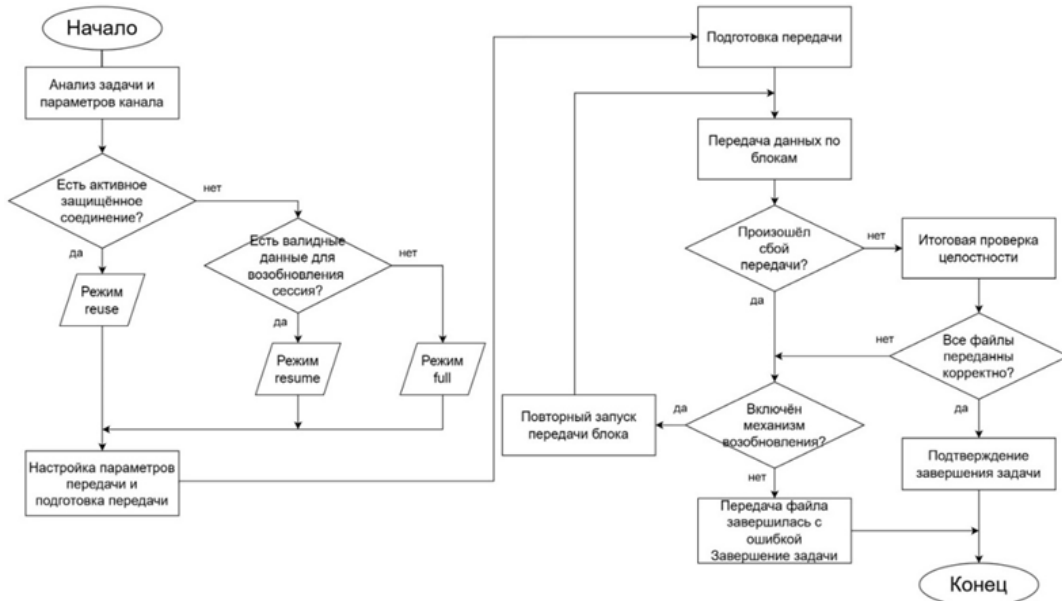


Рис. 1. Схема алгоритма определения режима использования защищенного соединения

по режимам можно записать:

$$t_i^{auth}(h_i) = \begin{cases} t_i^{cert} + t_i^{sign} + t_i^{state,full}, & h_i = full \\ t_i^{ticket} + t_i^{state,resume}, & h_i = resume \\ t_i^{state,reuse}, & h_i = reuse \end{cases}.$$

где t_i^{ticket} – время проверки токена или иного элемента возобновления сеанса. В большинстве сценариев выполняется неравенство:

$$t_i^{auth}(full) \geq t_i^{auth}(resume) \geq t_i^{auth}(reuse) \geq 0.$$

Время выполнения криптографических операций, связанных с подготовкой ключевого материала сеанса. Для полного соединения сюда входят вычисления, необходимые для процедуры обмена ключами, генерации промежуточных значений и подготовки общего секрета. В режиме возобновления сессии часть этих операций сокращается. В режиме повторного использования активного канала они отсутствуют полностью. В общем виде можно записать:

$$t_i^{kex}(h_i) = \begin{cases} t_i^{gen} + t_i^{derive} + t_i^{confirm}, & h_i = full, \\ t_i^{resume device} + t_i^{resume confirm}, & h_i = resume, \\ 0, & h_i = reuse, \end{cases}$$

где t_i^{gen} – время генерации локальных параметров обмена, t_i^{derive} – время вычисления общего секрета и производных сеансовых ключей, $t_i^{confirm}$ – время подготовки криптографических подтверждений, $t_i^{resume derive}$ – время восстановления ключевого материала в сокращенном режиме, $t_i^{resume confirm}$ – время криптографического подтверждения корректности восстановления.

Также выполняется соотношение:

$$t_i^{kex}(full) \geq t_i^{kex}(resume) \geq t_i^{kex}(reuse) = 0.$$

С учетом разложений по отдельным компонентам итоговая формула времени установления защищенного соединения может быть записана в развернутом виде:

$$t_i^{conn}(h_i) = k(h_i)\tau_i + \frac{D_i^{svc}(h_i)}{R_i} + t_i^{cert}(h_i) + t_i^{sign}(h_i) + t_i^{state}(h_i) + t_i^{kex}(h_i).$$

Более компактная форма с общими компонентами аутентификации и обмена ключами:

$$t_i^{conn}(h_i) = k(h_i)\tau_i + \frac{D_i^{svc}(h_i)}{R_i} + t_i^{cert}(h_i) + t_i^{auth}(h_i) + t_i^{kex}(h_i).$$

Эта формула используется далее как базовая в общей модели времени выполнения защищенной межсерверной передачи. Механизм возобновления строится на трех основных элементах: *manifest* задачи; журнале состояния передачи; процедуре согласования состояния после восстановления соединения.

Manifest содержит полное структурированное описание задачи обмена: идентификатор передачи, перечень файлов, размеры файлов, число блоков, параметры передачи, контрольные суммы и правила размещения блоков в итоговых файлах. Журнал состояния фиксирует текущий прогресс выполнения задачи и статусы отдельных блоков. Процедура согласования состояния используется после сбоя для того, чтобы клиентская и серверная стороны пришли к единому представлению о том, какие блоки уже считаются подтвержденными, а также с какого места должна быть продолжена передача.

На рис. 1 представлена схема алгоритма определения режима использования защищенного соединения, параметров межсерверной передачи данных и возобновления передачи после сбоя.

Сравнительные испытания проведены для разработанного средства и для существующих решений *SCP*, *SFTP* и *rsync* через *SSH*. Были исследованы сценарии передачи одного крупного файла, передачи большого числа файлов, повторяющегося обмена между одной и той же парой серверов и передачи в условиях искусственно инициированного сетевого сбоя. Разработанное решение обеспечивает сокращение полного времени выполнения задачи до 41,9 % по сравнению с *SCP*, до 36,9 % по сравнению с *SFTP* и до 25,3 % по сравнению с *rsync* в сценариях регулярного обмена и передачи после сбоя.

Литература

1. Асратян, Р.Э. Интернет-служба защищенной мультисерверной обработки информационных запросов в распределенных системах / Р.Э. Асратян // Программная инженерия. – 2017. – Т. 8. – № 4. – С. 161–169. – DOI: 10.17587/prin.8.161-169. – EDN: YLOUMN.
2. Тимошин, Ю.А. Технология распределенной обработки данных и приложений с использованием динамически интерпретируемых метамodelей / Ю.А. Тимошин, Т.Г. Шемсединов, В.П. Ярченко, А.И. Мороз // Адаптивные системы автоматического управления. – 2014. – № 1(24). – С. 128–138. – EDN: WGEIOP.
3. Романец, Ю.В. Модуль доверенной загрузки с возможностью удаленного управления серверами / Ю.В. Романец, Д.А. Дударев, С.П. Панасенко // Наноиндустрия. – 2018. – № S(82). – С. 92–100. – DOI: 10.22184/1993-8578.2018.82.92.100. – EDN: URZGRY.
4. Ghobadi, A. Wrapper algorithm improve data transfer and synchronization performance of rsync / A. Ghobadi, C. Eswaran, C.K. Ho, Y. Lee Kee, K. Wei Li // International Journal Artificial Intelligent and Informatics. – 2021. – Т. 2. – No. 1. – P. 40–52. – DOI: 10.33292/ijarlit.v2i1.33. – EDN: VNYUOL.
5. Архипов, Д.Р. Метод удаленной разностной синхронизации файлов, ориентированный на минимизацию передаваемой информации / Д.Р. Архипов // StudNet. – 2020. – Т. 3. – № 11. – С. 22. – EDN: JYJEQG.

References

1. Asratyan, R.E. Internet-sluzhba zashchishchennoj multiservernoj obrabotki informatsionnykh zaprosov v raspredelennykh sistemakh / R.E. Asratyan // Programmaya inzheneriya. – 2017. – T. 8. – № 4. – S. 161–169. – DOI: 10.17587/prin.8.161-169. – EDN: YLOUMN.
2. Timoshin, YU.A. Tekhnologiya raspredelennoj obrabotki dannykh i prilozhenij s ispolzovaniem dinamicheski interpretiruemykh metamodelej / YU.A. Timoshin, T.G. SHemsedinov, V.P. YArchenko, A.I. Moroz // Adaptivnye sistemy avtomaticheskogo upravleniya. – 2014. – № 1(24). – S. 128–138. – EDN: WGEIOP.
3. Romanets, YU.V. Modul doverennoj zagruzki s vozmozhnostyu udalennogo upravleniya serverami / YU.V. Romanets, D.A. Dudarev, S.P. Panasencko // Nanoindustriya. – 2018. – № S(82). – S. 92–100. – DOI: 10.22184/1993-8578.2018.82.92.100. – EDN: URZGRY.

5. Arkhipov, D.R. Metod udalennoj raznostnoj sinkhronizatsii fajlov, orientirovannij na minimizatsiyu peredavaemoj informatsii / D.R. Arkhipov // StudNet. – 2020. – T. 3. – № 11. – S. 22. – EDN: JYJEQG.

© В.О. Александров, Е.М. Портнов, 2026

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАДАЧ В ПРОЕКТНЫХ КОМАНДАХ С УЧЕТОМ СТИЛЯ РАБОТЫ СОТРУДНИКОВ

Н.Ю. БОРЗЫХ

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: лексикографическая оптимизация; многокритериальная оптимизация; нормализация показателей; организационная система; поддержка принятия решений; распределение задач; стиль работы.

Аннотация: В статье рассматривается задача распределения задач между участниками проектной команды как задача многокритериальной оптимизации. Показано, что существующие инструменты управления проектами, накапливая историю выполнения задач, не предоставляют расчетной процедуры для автоматического сопоставления характеристик задачи с профилем исполнителя. Предлагаемый подход основан на введении единого нормализованного показателя – стиля работы сотрудника, агрегирующего накопленные данные о скорости выполнения, качестве и соблюдении сроков. На его основе строится двухкритериальная задача в лексикографической постановке: приоритетный критерий – максимизация числа содержательно согласованных назначений; вторичный критерий – минимизация суммарного взвешенного времени проекта. Разработан алгоритм с замкнутым циклом обновления параметров, допускающий встраивание в систему поддержки принятия решений и адаптацию к изменению производительности исполнителей. Приведены постановка задачи, математическая модель, описание алгоритма, оценка вычислительной сложности и результаты численного эксперимента, подтверждающие практическую применимость метода.

Список обозначений

Z – суммарные временные затраты на проект, ч;
 k – число задач в плановом горизонте;
 m – число сотрудников команды;
 n – объем исторической выборки;
 p_i – приоритет i -й задачи, $p_i \in [0, 1]$;
 d_i – плановый срок завершения i -й задачи;
 s_i – момент постановки i -й задачи в очередь;
 st_j – показатель стиля работы j -го сотрудника, $st_j \in [0, 1]$;
 q – функция эффективности распределения;
 w_1, w_2, w_3 – весовые коэффициенты, $w_1 + w_2 + w_3 = 1$;
 θ – порог жесткости требований, $\theta \in [0, 1]$;
 T – множество задач $\{t_1, \dots, t_k\}$;
 E – множество сотрудников $\{e_1, \dots, e_m\}$.

Введение

Принятие управленческих решений в проектной деятельности неизбежно сталкивается с проблемой неполноты и субъективности оценок. Руководитель, распределяя задачи между членами команды, вынужден опираться главным образом на собственный опыт и текущее представление о возможностях каждого исполнителя. Такой подход работоспособен при небольшом составе команды и коротком горизонте планирования, однако с ростом числа участников и усложнением структуры задач накапливаются систематические ошибки: кому-то регулярно достаются задачи, не соответствующие его сильным сторонам, кто-то оказывается хронически перегружен, тогда как ресурс другого сотрудника используется лишь частично [1; 2; 9].

С практической стороны ситуацию осложняет то, что современные платформы управления проектами – *Jira*, *YouTrack*, *Trello*, *Asana* – хотя и накапливают детальную историю задач, не предоставляют встроенных инструментов для ее систематического анализа в интересах планирования назначений. Данные о сроках, трудоемкости и качестве выполнения хранятся в базе, но не преобразуются автоматически в рекомендацию о том, кому следует поручить следующую задачу. Именно этот разрыв между доступными данными и поддержкой решений составляет практическую проблему, рассматриваемую в настоящей статье.

Задача автоматизированного назначения задач исполнителям принадлежит к широкому классу задач распределения ресурсов. Классические постановки – транспортная задача, задача о назначении – опираются на заданную матрицу стоимостей и предполагают, что характеристики исполнителей известны точно и не меняются в ходе работы [11; 14; 16]. Реальная проектная среда устроена иначе: возможности исполнителя меняются по мере приобретения опыта, производительность зависит от типа задачи, а данные о прошлых результатах поступают неравномерно.

В последние годы интерес исследователей к задаче назначения в контексте программных проектов заметно вырос. Ряд работ использует методы машинного обучения для рекомендации исполнителей на основе текстовых описаний задач [4; 12]. Другое направление связывает характеристики исполнителей с показателями репозиторий: числом коммитов, динамикой изменения кода, оценками в системах код-ревью [5; 13]. Тем не менее формальная постановка, в которой скорость, качество и пунктуальность учитываются совместно через единый нормализованный показатель, влияющий и на целевую функцию, и на ограничения, в доступной литературе встречается редко [3; 7].

Цель настоящей статьи – предложить математическую модель распределения задач, в которой индивидуальный профиль исполнителя формализован через адаптивный показатель стиля работы, и построить на ее основе алгоритм, пригодный для интеграции в систему поддержки принятия решений. Научная новизна состоит в совместном использовании лексикографической многокритериальной оптимизации и адаптивного пересчета профилей исполнителей по мере поступления новых

данных.

1. Постановка задачи и анализ существующих подходов

Задача распределения задач по исполнителям относится к комбинаторному классу, близкому к задаче о назначении (*assignment problem*). В классической формулировке имеются n работ и n исполнителей, стоимость назначения i -й работы j -му исполнителю задана матрицей C , и требуется найти биекцию, минимизирующую суммарную стоимость. Предлагаемая модель отличается от классической по нескольким принципиальным параметрам. Во-первых, число задач k и число сотрудников m не обязаны совпадать: один сотрудник может вести несколько задач, но с ограничением по загрузке. Во-вторых, «стоимость» назначения не является константой, а вычисляется из переменного профиля исполнителя, пересчитываемого при обновлении данных. В-третьих, критериев оптимальности два, и они обрабатываются в лексикографическом порядке.

Формально введем следующие обозначения. Пусть $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ – множество сотрудников команды, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_k\}$ – множество задач планового горизонта. Каждой задаче t_i сопоставлен вектор атрибутов: приоритет $p_i \in [0, 1]$, момент постановки в очередь s_i и плановый срок завершения d_i . Для каждого сотрудника e_j на основе истории выполненных задач и коммитов вычисляется скаляр $st_j \in [0, 1]$ – его стиль работы. Искомым объектом является отображение $\pi: T \rightarrow E$, задающее назначение каждой задачи конкретному исполнителю.

Обзор существующих подходов показывает, что исследования распределяются по трем основным направлениям. Первое ориентировано на агрегированные характеристики проекта в целом: суммарный объем работ, число участников, плановые сроки сдачи. Индивидуальные данные сотрудника в этих моделях либо усредняются по команде, либо задаются экспертно без пересчета в ходе проекта [7; 9; 13]. Такой подход обоснован для стратегического планирования, но недостаточно чувствителен к текущему состоянию отдельных исполнителей.

Второе направление работает в формализме многокритериальной оптимизации и задачи о назначении. Работы этого класса формулируют вектор критериев – стоимость, время, качество – и применяют методы взвешенной

свертки, парето-оптимальности или лексикографической оптимизации [11; 14; 16]. Ограничение подхода: весовые коэффициенты критериев, как правило, задаются заранее и не адаптируются к накопленной статистике.

Третье направление объединяет экспертные системы и подходы на основе машинного обучения, в которых рекомендация формируется моделью, обученной на исторических данных проекта [4; 5; 12]. Ограничение – потребность в значительном объеме обучающей выборки и сложность интерпретации рекомендаций.

Предлагаемая постановка занимает промежуточное положение: используется строгий математический аппарат задачи назначения, однако вместо фиксированной матрицы стоимостей вводится адаптивный показатель, пересчитываемый по мере поступления данных. Лексикографический порядок критериев обеспечивает приоритет содержательного критерия (соответствие профиля исполнителя приоритету задачи) над временным.

2. Математическая модель распределения задач

Целевая функция. Для оценки временной эффективности распределения вводится взвешенная сумма плановых длительностей задач, где вес каждой задачи определяется ее приоритетом:

$$\min Z = \sum_{i=1}^k p_i \cdot (d_i - s_i), \quad (1)$$

Запись (1) интерпретируется как взвешенная свертка прогнозируемых длительностей: при одинаковой длительности задач больший вклад в Z вносит та, у которой выше приоритет. В данной модели приоритеты p_i предполагаются заданными на этапе планирования и в ходе проекта не пересматриваются. Формула (1) оценивает именно плановые длительности: распределение формируется до начала выполнения, и единственными доступными данными о будущем являются плановые сроки.

Показатель стиля работы. Центральным понятием модели является числовая характеристика исполнителя – стиль работы, – позволяющая свернуть разнородные исторические данные о его деятельности в единый скаляр, сравнимый с приоритетом задачи:

$$st_j = w_1 \cdot c_{rate_i} + w_2 \cdot q_{score_i} - w_2 \cdot lp_j, \quad (2)$$

где c_{rate_j} – нормализованная средняя скорость выполнения задач сотрудником e_j ; q_{score_j} – нормализованная средняя оценка качества его работы по завершенным задачам; lp_j – нормализованный штраф за нарушение сроков.

Содержательно: c_{rate_j} отражает скорость закрытия задач относительно остальных членов команды; q_{score_j} строится на основе данных код-ревью или иных метрик качества; lp_j – отношение суммарного времени просрочки к допустимому пределу. Штраф входит со знаком «минус»: его рост снижает итоговое значение st_j .

Весовые коэффициенты w_1, w_2, w_3 задаются лицом, принимающим решения, исходя из приоритетов проекта. Для проектов с жесткими сроками следует увеличить w_3 ; для проектов, ориентированных на качество кода, – w_2 . Такая гибкость позволяет адаптировать модель к различным типам проектной деятельности без изменения ее структуры.

Min-max нормализация. Компоненты формулы (2) исходно измеряются в различных единицах. Перед подстановкой в (2) все три показателя приводятся к диапазону $[0, 1]$:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (3)$$

Нормализация проводится по всей команде, что обеспечивает сравнимость значений st_j у разных исполнителей. Вырожденный случай $x_{max} = x_{min}$ обрабатывается особо: сотрудникам сопоставляется значение 0,5, соответствующее нейтральному вкладу данной компоненты.

Функция эффективности распределения: качество получаемого распределения π оценивается через функцию, подсчитывающую число задач, для которых исполнитель достаточно соответствует требованиям по показателю стиля работы:

$$q = \sum_{i=0}^k I(st_{j(i)} \geq \theta \cdot p_i), \quad (4)$$

где $I(\cdot)$ – индикаторная функция, принимающая значение 1 при выполнении неравенства и 0 – в противном случае. Параметр θ определяет жесткость требований: при $\theta = 0,5$ порог соот-

ветствия для задачи с $p_i = 0,9$ равен $st_j \geq 0,45$. Значение $q = k$ означает, что все задачи назначены исполнителям с профилями, удовлетворяющими пороговому условию.

Двухкритериальная задача – задача распределения в итоговой постановке: найти π^* : $T \rightarrow E$, максимизирующее $q(\pi)$ при вторичном условии минимальности $Z(\pi)$:

$$\pi^* = \arg \max_{\pi} q(\pi) \quad (5)$$

при условии $Z(\pi) \rightarrow \min$.

Лексикографический порядок отражает управленческую логику: сначала убедиться, что задачи достались подходящим исполнителям, и только затем оптимизировать временные показатели.

3. Алгоритм поддержки принятия решений

Алгоритм, реализующий описанную модель, состоит из шести последовательных шагов и замкнутого цикла обновления параметров.

Шаг 1. Загрузка данных. Из СУП извлекаются записи о завершенных задачах (идентификатор, приоритет p_i , момент постановки s_i , плановый срок d_i , идентификатор исполнителя, фактическое время завершения); из СКВ – записи о коммитах (автор, временная метка, число измененных строк, оценка качества). На этом же шаге формируется список задач текущего периода, для которых требуется рекомендация.

Шаг 2. Вычисление исходных показателей. Для каждого сотрудника e_j вычисляются три ненормализованных показателя: скорость (отношение числа завершенных задач к суммарному времени), качество (среднее значение оценок по завершенным задачам) и штраф (отношение суммарного времени просрочки к допустимому пределу). Новым участникам команды с пустой историей назначаются нейтральные значения.

Шаг 3. Нормализация. Все три показателя нормализуются по формуле (3); минимум и максимум вычисляются по всей команде. Нормализованные значения используются только на шаге 4.

Шаг 4. Расчет стиля работы. Для каждого сотрудника e_j вычисляется st_j по формуле (2). По умолчанию принято равновзвешенное распределение $w_1 = w_2 = w_3 = 1/3$. Результирующий вектор профилей используется в шагах 5 и 6.

Шаг 5. Построение распределения. Зада-

чи сортируются по убыванию p_i . Для каждой задачи t_i перебираются сотрудники в порядке возрастания загрузки; первый e_j с $st_j \geq \theta \cdot p_i$ признается рекомендованным исполнителем, его загрузка увеличивается. Если подходящего исполнителя нет, задача помечается флагом «требуется решения руководителя».

Шаг 6. Расчет метрик и вывод. По полученному π вычисляются q по формуле (4) и Z по формуле (1). Оба значения передаются в интерфейс СППР вместе с детализированным списком рекомендованных назначений.

Цикл обновления. По мере завершения задач новые данные добавляются в историю. Шаги 2–4 запускаются периодически, и вектор профилей стилей обновляется – алгоритм адаптируется к изменению производительности сотрудников.

Блок-схема алгоритма представлена на рис. 1.

Оценка вычислительной сложности. Шаги 2–4 выполняют по одному проходу по истории каждого сотрудника: $O(n)$. Сортировка задач на шаге 5: $O(k \log k)$. Основной цикл назначения в худшем случае: $O(k \cdot m)$. Вычисление q и Z : $O(k)$. Итого:

$$T(n, m, k) = O(n + k \cdot m + k \log k). \quad (6)$$

При практических размерностях ($k \leq 100$, $m \leq 100$, $n \leq 10\,000$) это соответствует времени отклика порядка единиц-десятков миллисекунд, что приемлемо для интерактивного режима работы с СППР. По памяти алгоритм линейен: $O(k + m + n)$.

Алгоритм не требует решения задачи целочисленного программирования. Жадная стратегия (сортировка по приоритету, выбор наименее загруженного подходящего исполнителя) не гарантирует глобального оптимума по Z при фиксированном q , однако обеспечивает практически хорошие решения за полиномиальное время – что и является основным требованием для инструмента поддержки принятия решений в условиях ограниченного времени реакции.

4. Численный эксперимент

Для верификации предложенной модели проведен вычислительный эксперимент. Исходные данные сформированы по реальному образцу: история задач из СУП и история ком-

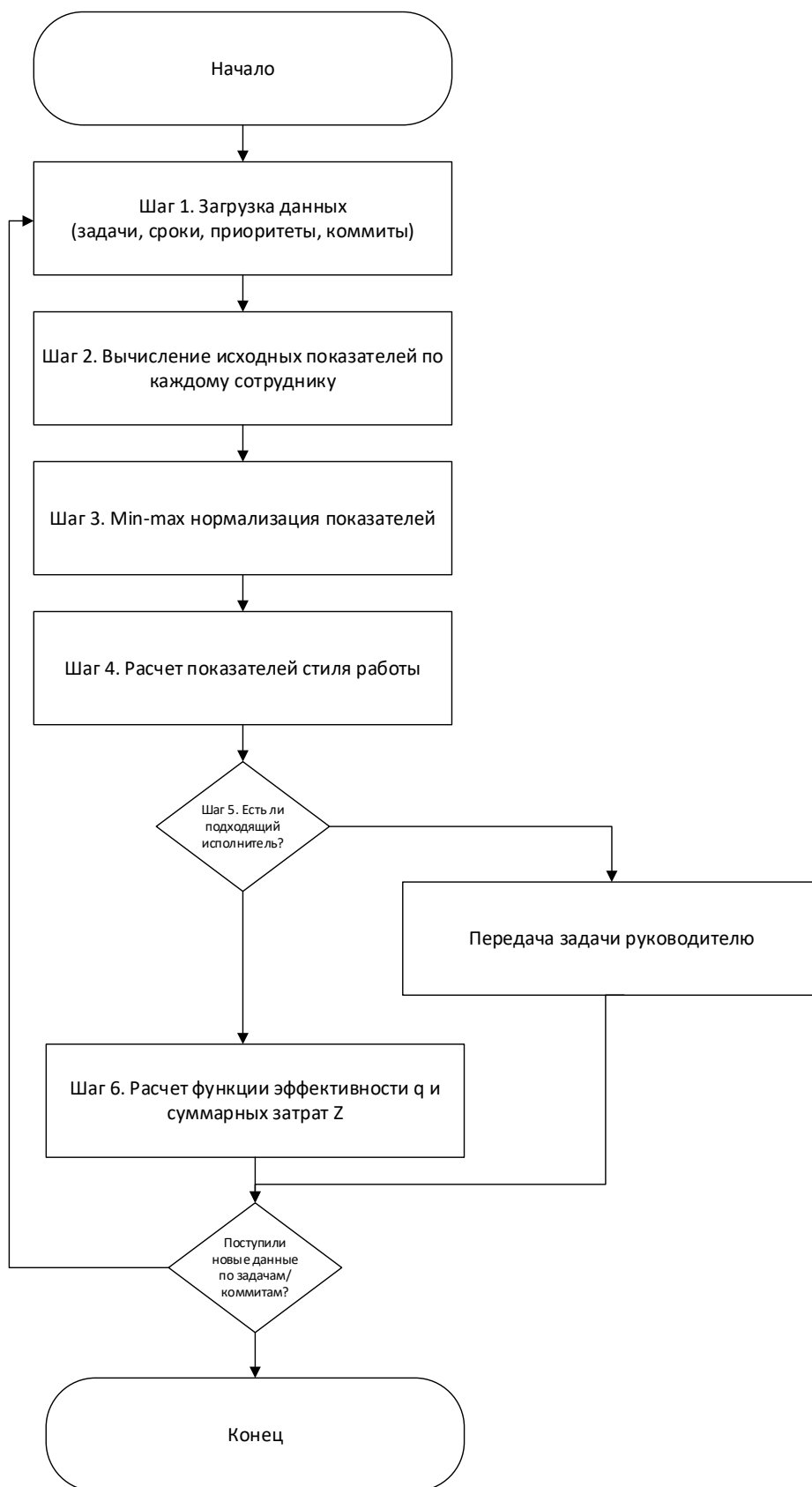


Рис. 1. Блок-схема алгоритма поддержки принятия решений по распределению задач

Таблица 1. Сравнение вариантов распределения задач проекта

Задача	p_i	Дедлайн, ч	Без СППР	С использованием СППР
<i>A</i>	0,9	18	Сотрудник 2	Сотрудник 1
<i>B</i>	0,3	12	Сотрудник 1	Сотрудник 2
<i>C</i> (зависит от <i>A</i>)	0,7	24	Сотрудник 2	Сотрудник 1
<i>D</i>	0,2	6	Сотрудник 1	Сотрудник 2

митов из СКВ за три месяца работы двух разработчиков над программным продуктом.

Характеристика исполнителей. Сотрудник 1 (С1) последовательно закрывает задачи с небольшими задержками и высокими оценками код-ревью; медиана задержки – 0,3 ч. Сотрудник 2 (С2) закрывает задачи быстрее по числу тикетов, однако нарушает сроки чаще: медиана задержки – 2,1 ч, оценки качества ниже. После нормализации по формуле (3) и расчета по формуле (2) при весах $w_1 = 0,4$; $w_2 = 0,5$; $w_3 = 0,1$ получены значения $st_1 \approx 0,76$ и $st_2 \approx 0,19$.

Описание задач планового периода. Для распределения предъявлены четыре задачи нового спринта: *A* (реализация критической функции, $p_A = 0,9$, $d_A = 18$ ч), *B* (рефакторинг вспомогательного модуля, $p_B = 0,3$, $d_B = 12$ ч), *C* (интеграция с внешним сервисом, зависит от *A*, $p_C = 0,7$, $d_C = 24$ ч) и *D* (обновление документации, $p_D = 0,2$, $d_D = 6$ ч). Задача *C* зависит от *A*: ее выполнение невозможно начать до завершения *A*, что делает критически важным выбор быстрого и надежного исполнителя для *A*.

Базовый вариант распределения. В качестве базового рассматривается распределение, назначенное руководителем на основании текущей загрузки без формальной оценки стилей: задачи *A* и *C* отданы С2, задачи *B* и *D* – С1. Это решение не учитывает, что формальная «быстрота» С2 скрывает регулярные просрочки и более низкое качество.

Результаты применения СППР. Алгоритм рекомендует передать высокоприоритетные задачи *A* и *C* исполнителю С1 ($st_1 = 0,76 \geq \theta \cdot p_A = 0,45$ и $\theta \cdot p_C = 0,35$), а низкоприоритетные *B* и *D* – исполнителю С2 ($st_2 = 0,19 \geq \theta \cdot p_B = 0,15$ и $\theta \cdot p_D = 0,10$). Сравнение вариантов приведено в табл. 1.

Расчет функции эффективности по формуле (4) при $\theta = 0,5$ дает $q = 2$ для базового варианта и $q = 4$ для рекомендованного. В базовом

варианте условие $st_j \geq \theta \cdot p_i$ выполняется лишь для задач *B* и *D* (назначенных С1), тогда как высокоприоритетные задачи *A* и *C* оказались у исполнителя, чей профиль не достигает порога. В рекомендованном распределении условие выполнено для всех четырех задач.

По показателю суммарных временных затрат *Z*: в базовом варианте $Z = 0,9 \cdot 18 + 0,3 \cdot 12 + 0,7 \cdot 24 + 0,2 \cdot 6 = 37,8$ ч. Прогнозируемое время проекта по критическому пути $A \rightarrow C$ сокращается с 24 до 20 часов за счет передачи этих задач более надежному и качественному исполнителю.

Дополнительно проведен анализ чувствительности к параметру θ . При $\theta = 0,3$ оба варианта дают $q = 4$ (порог легко достижим), и решение принимается по *Z*. При $\theta = 0,8$ ни один исполнитель не проходит порог для задачи *A* в базовом варианте; в рекомендованном С1 проходит. Это подтверждает, что $\theta = 0,5$ обеспечивает разумную дифференциацию при контрастных профилях.

5. Обсуждение результатов

Полученные результаты позволяют выделить несколько практических следствий.

Во-первых, введение единого нормализованного показателя стиля работы обеспечивает прозрачность рекомендаций: руководитель видит конкретные числовые значения (st_j и $\theta \cdot p_i$), объясняющие, почему задача рекомендована именно данному исполнителю.

Это принципиально отличает подход от методов машинного обучения, где связь между входными данными и рекомендацией, как правило, непрозрачна.

Во-вторых, лексикографический порядок критериев устраняет необходимость выбирать единый весовой коэффициент для свертки разнородных критериев.

Заключение

Приоритет критерия q над Z означает, что ни при каком значении Z не будет выбрано распределение с меньшим q .

Это отражает управленческую практику: соответствие компетенций исполнителя задаче важнее незначительного выигрыша во времени.

В-третьих, адаптивный пересчет профилей отражает реальную динамику команды. Если сотрудник улучшает показатели после серии успешных задач, это немедленно сказывается на следующем распределении. Серия просрочек автоматически направляет к нему менее приоритетные задачи, снижая риск срыва критических сроков.

Необходимо также отметить ограничения модели. Задача о назначении предполагает разбиение задач на непересекающиеся группы; в реальности задача может потребовать совместной работы двух сотрудников, что выходит за рамки формализма $\pi: T \rightarrow E$.

Зависимости между задачами (тип $A \rightarrow C$) учитываются лишь косвенно через критический путь, но не вводятся в модель явно. Оценка $qscore$ зависит от систематичности проведения код-ревью в проекте; при его отсутствии данный компонент должен быть заменен альтернативным индикатором.

Практическая интеграция алгоритма в существующие СУП возможна через API: *Jira*, *YouTrack*, *Azure DevOps* предоставляют REST-интерфейсы для чтения истории задач. Показатели коммитов могут быть получены из *GitLab*, *GitHub* или *Bitbucket* аналогичным образом. Техническая реализация не требует изменения инфраструктуры проекта и может быть выполнена как отдельный микросервис.

В работе предложена математическая модель и алгоритм распределения задач между участниками проектной команды, основанные на нормализованном показателе стиля работы исполнителя. Задача рассмотрена как двухкритериальная оптимизационная задача в лексикографической постановке: первичный критерий – максимизация числа содержательно согласованных назначений, вторичный – минимизация суммарных взвешенных временных затрат. Модель включает шесть расчетных соотношений (формулы (1)–(6)) и сопровождается алгоритмом из шести шагов с замкнутым циклом обновления параметров. Оценка временной сложности $O(n + k \cdot m + k \cdot \log k)$ подтверждает применимость алгоритма в интерактивном режиме при типовых размерах проектной команды. Численный эксперимент продемонстрировал двукратный прирост значения функции эффективности (q : $2 \rightarrow 4$ при $k = 4$) и сокращение прогнозируемого срока по критическому пути с 24 до 20 часов. Предложенный подход может служить основой для встраиваемого модуля СППР в существующие платформы управления проектами. Направлениями дальнейших исследований являются: явное включение зависимостей задач (*DAG*) в оптимизационную постановку; переход к схемам с экспоненциальным затуханием по времени при агрегировании истории; автоматический подбор весовых коэффициентов и порога θ средствами машинного обучения; а также верификация модели на данных промышленных проектов с публично доступными репозиториями.

Литература

1. Борзых, Н.Ю. Анализ систем поддержки принятия решений, их классификаций и методов принятия решений / Н.Ю. Борзых // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 91-7. – С. 87–90. – DOI: 10.18411/trnio-11-2022-350. – EDN: VCUAUM.
2. Василенко, И.И. Проблемы и перспективы развития систем поддержки принятия решений в будущем / И.И. Василенко, А.Л. Золкин, Г.Р. Темижева, Т.Б. Матвиевская // Экономика и предпринимательство. – 2023. – № 10(159). – С. 827–832. – DOI: 10.34925/EIP.2023.159.10.169. – EDN: EEUUAD.
3. Калач, А.В. Разработка архитектуры программного обеспечения для поддержки принятия решений при выборе стратегий проектирования из множества альтернатив / А.В. Калач, Н.Ю. Борзых, Т.Е. Смоленцева // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2024. – Т. 12. – № 4. – DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.004. – EDN: DRSDWS.
4. Калач, А.В. К вопросу выбора критериев при проектировании корпоративных информационных систем / А.В. Калач, Т.Е. Смоленцева, Н.Ю. Борзых // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2022. – № 4. – С. 72–77. – EDN: JHKRWP.

5. Леонтьев С.М. Инструменты поддержки принятия решений в проектном менеджменте: от теории к практике / С.М. Леонтьев // *Universum: технические науки*. – 2024. – № 5(122). – С. 37–39. – EDN: JFMSHR.
6. Лобастов, С.Ю. Системы коллективной поддержки принятия решений: определение, виды, направление развития / С.Ю. Лобастов // *Молодой ученый*. – 2015. – № 13(93). – С. 850–855. – EDN: TZKTLZ.
7. Медведева, М.А. Системы поддержки принятия управленческих решений / М.А. Медведева, А.О. Коломыцева, А.Ю. Вишнякова, Е.А. Искра. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – С. 37–48.
8. Мирончук, В.А. Современные компьютерные системы поддержки принятия решений / В.А. Мирончук, А.Л. Золкин, Ж.В. Мекшенева, И.А. Поскряков // *Естественно-гуманитарные исследования*. – 2023. – № 4(48). – С. 228–231. – EDN: ЕВЕЕНК.
9. Лабабиди, М.Р. Система поддержки принятия решений (СППР) как инструмент принятия эффективных управленческих решений на промышленных предприятиях / М.Р. Лабабиди, Н.Р. Кельчевская // *Весенние дни науки: сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых*. – Екатеринбург, 2022. – С. 377–381. – EDN: DUHPNU.
10. Сабадош, Л.Ю. Система поддержки принятия решений по формированию проектной команды / Л.Ю. Сабадош, Н.В. Косенко, М.А. Гахова // *Экономика. Информатика*. – 2012. – № 19(138). – С. 38–42. – EDN: RMUGTZ.
11. Симанков, В.С. Методологические аспекты построения систем поддержки принятия решений / В.С. Симанков, С.Н. Владимиров, А.О. Денисенко, А.Н. Черкасов // *Advanced Engineering Research*. – 2008. – Т. 8. – № 3(38). – С. 2–11. – EDN: KAOGLN.
12. Стародубцев, А.А. Система поддержки принятия решений / А.А. Стародубцев // *Актуальные проблемы авиации и космонавтики* : сб. науч. ст. – Красноярск, 2016. – С. 99–101. – EDN: XRYBGN.
13. Харитонов, Ю.Н. Модель СППР выбора команды проекта / Ю.Н. Харитонов, Е.В. Елгина // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2013. – № 5/2(45). – С. 13–15. – EDN: QASOCJ.
14. Шошина, Е.А. Системы поддержки принятия решений: как они меняют бизнес-процессы / Е.А. Шошина // *Молодой ученый*. – 2025. – № 2(553). – С. 25–28. – EDN: EJBTEQ.
15. Шульман, В.Д. Построение и эксплуатация систем поддержки принятия решений в проектной деятельности / В.Д. Шульман, Е.А. Шкирмونتowa, О.Ю. Еремин // *Современные наукоемкие технологии*. – 2021. – № 11 (ч. 2). – С. 313–318. – DOI: 10.17513/snt.38930. – EDN: EGOKWL.
16. Tripathi, K.P. Decision Support System Is a Tool for Making Better Decisions in the Organization / K.P. Tripathi // *Indian Journal of Computer Science and Engineering*. – 2011. – Vol. 2. – No. 1. – P. 112–117.

References

1. Borzykh, N.YU. Analiz sistem podderzhki prinyatiya reshenij, ikh klassifikatsij i metodov prinyatiya reshenij / N.YU. Borzykh // *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. – 2022. – № 91-7. – S. 87–90. – DOI: 10.18411/trnio-11-2022-350. – EDN: VCUAUM.
2. Vasilenko, I.I. Problemy i perspektivy razvitiya sistem podderzhki prinyatiya reshenij v budushchem / I.I. Vasilenko, A.L. Zolkin, G.R. Temizheva, T.B. Matvievsкая // *Ekonomika i predprinimatelstvo*. – 2023. – № 10(159). – S. 827–832. – DOI: 10.34925/EIP.2023.159.10.169. – EDN: EEUAD.
3. Kalach, A.V. Razrabotka arkhitektury programmnoho obespecheniya dlya podderzhki prinyatiya reshenij pri vybore strategij proektirovaniya iz mnozhestva alternativ / A.V. Kalach, N.YU. Borzykh, T.E. Smolentseva // *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii*. – 2024. – Т. 12. – № 4. – DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.004. – EDN: DRSDWS.
4. Kalach, A.V. K voprosu vybora kriteriev pri proektirovanii korporativnykh informatsionnykh sistem / A.V. Kalach, T.E. Smolentseva, N.YU. Borzykh // *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii*. – 2022. – № 4. – S. 72–77. – EDN: JHKRWP.

5. Leontev S.M. Instrumenty podderzhki prinyatiya reshenij v proektnom menedzhmente: ot teorii k praktike / S.M. Leontev // *Universum: tekhnicheskie nauki*. – 2024. – № 5(122). – S. 37–39. – EDN: JFMSHR.
6. Lobastov, S.YU. Sistemy kollektivnoj podderzhki prinyatiya reshenij: opredelenie, vidy, napravlenie razvitiya / S.YU. Lobastov // *Molodoj uchenij*. – 2015. – № 13(93). – S. 850–855. – EDN: TZKTLZ.
7. Medvedeva, M.A. Sistemy podderzhki prinyatiya upravlencheskikh reshenij / M.A. Medvedeva, A.O. Kolomytseva, A.YU. Vishnyakova, E.A. Iskra. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2019. – S. 37–48.
8. Mironchuk, V.A. Sovremennye kompyuternye sistemy podderzhki prinyatiya reshenij / V.A. Mironchuk, A.L. Zolkin, ZH.V. Meksheneva, I.A. Poskryakov // *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya*. – 2023. – № 4(48). – S. 228–231. – EDN: EBEEHK.
9. Lababidi, M.R. Sistema podderzhki prinyatiya reshenij (SPPR) kak instrument prinyatiya effektivnykh upravlencheskikh reshenij na promyshlennykh predpriyatiyakh / M.R. Lababidi, N.R. Kelchevskaya // *Vesennie dni nauki: sbornik dokladov Mezhdunarodnoj konferentsii studentov i molodykh uchenykh*. – Ekaterinburg, 2022. – S. 377–381. – EDN: DUHPNU.
10. Sabadosh, L.YU. Sistema podderzhki prinyatiya reshenij po formirovaniyu proektnoj komandy / L.YU. Sabadosh, N.V. Kosenko, M.A. Gakhova // *Ekonomika. Informatika*. – 2012. – № 19(138). – S. 38–42. – EDN: RMUGTZ.
11. Simankov, V.S. Metodologicheskie aspekty postroeniya sistem podderzhki prinyatiya reshenij / V.S. Simankov, S.N. Vladimirov, A.O. Denisenko, A.N. CHerkasov // *Advanced Engineering Research*. – 2008. – T. 8. – № 3(38). – S. 2–11. – EDN: KAOGLN.
12. Starodubtsev, A.A. Sistema podderzhki prinyatiya reshenij / A.A. Starodubtsev // *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavтики : sb. nauch. st.* – Krasnoyarsk, 2016. – S. 99–101. – EDN: XRYBGN.
13. KHaritonov, YU.N. Model SPPR vybora komandy proekta / YU.N. KHaritonov, E.V. Elgina // *Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*. – 2013. – № 5/2(45). – S. 13–15. – EDN: QASOCJ.
14. SHoshina, E.A. Sistemy podderzhki prinyatiya reshenij: kak oni menyayut biznes-protsessy / E.A. SHoshina // *Molodoj uchenij*. – 2025. – № 2(553). – S. 25–28. – EDN: EJBTEQ.
15. SHulman, V.D. Postroenie i ekspluatatsiya sistem podderzhki prinyatiya reshenij v proektnoj deyatel'nosti / V.D. SHulman, E.A. SHkirmontova, O.YU. Eremin // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. – 2021. – № 11 (ch. 2). – S. 313–318. – DOI: 10.17513/snt.38930. – EDN: EGOKWL.

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОТОКОЛА LORAWAN ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО АБОНЕНТА

А.С. БРАГИН, Е.В. КОКОРЕВА

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»,
г. Новосибирск

Ключевые слова и фразы: позиционирование; *LoRaWAN*; *RSSI*; *GPS*; технологии; *RFID*; Вега-Абсолют.

Аннотация: В данной статье представлен анализ сетевого протокола *LoRaWAN* на оборудовании «Вега-Абсолют» в рамках реализации услуг позиционирования абонентов. Целью исследования является установление взаимосвязи между уровнем мощности принимаемого сигнала (*RSSI*) и эффективностью применения нейронных сетей. В ходе работы решались следующие задачи: проведение анализа протокола *LoRaWAN* на базе оборудования «Вега-Абсолют», выполнение соответствующих измерений, а также обработка полученных данных с помощью нейронных сетей для оценки возможностей позиционирования абонентов. Использование методов машинного обучения для обработки больших данных в сфере локального позиционирования позволяет обеспечить повышение точности на 20 % относительно традиционных подходов. Обработка данных, полученных с устройств «Вега-Абсолют», осуществлялась в программной среде *Python*. Результаты исследования позволили выявить как погрешности измерений, так и новые направления для дальнейших изысканий. Полученные выводы имеют практическую значимость для специалистов по разработке систем позиционирования.

Технологии позиционирования – это набор методов и систем, которые позволяют определить местоположение объекта в пространстве. Их можно условно разделить на три большие группы: глобальные, локальные и гибридные. Выбор технологии зависит от задачи: открытая местность, помещение, сложные условия с помехами.

При выборе нужно учитывать несколько факторов.

– *Условия эксплуатации.* Для использования в условиях открытого пространства предпочтительнее применять системы *GNSS*, тогда как для работы внутри помещений целесообразно использовать локальные системы позиционирования.

– *Требуемая точность.* В то время как многие бизнес-задачи допускают погрешность в несколько метров, производственные процессы и задачи в сфере логистики зачастую требуют обеспечения сантиметровой точности.

– *Бюджет и сроки внедрения.* Локальные

системы требуют значительных инвестиций в инфраструктуру, но гибридные решения могут быть оправданы комплексным эффектом [1].

В данной статье анализируются локальные системы позиционирования методом триангуляции, основанные на оценке уровня мощности принимаемого сигнала (*RSSI*) от точек доступа на оборудовании компании «Вега-Абсолют», функционирующем по протоколу *LoRaWAN*.

LoRaWAN (*Long Range Wide Area Network*) представляет собой специализированный протокол передачи данных, предназначенный для функционирования в беспроводных сетях с расширенным радиусом покрытия. Данная технология ориентирована на обеспечение энергоэффективного взаимодействия между компонентами Интернета вещей (*IoT*) и базовыми станциями. Являясь неотъемлемой частью архитектуры *LPWAN* (*Low-Power Wide-Area Network*), протокол *LoRaWAN* структурно подразделяется на два уровня: физический и сетевой [2; 3].

– **LoRa** (*Long Range*) – метод физического уровня (*PHY*), отвечающий за модуляцию радиосигналов для передачи данных на большие расстояния с высокой устойчивостью к помехам.

– **LoRaWAN** – протокол сетевого уровня, определяющий архитектуру сети, механизмы связи и систему безопасности поверх технологии *LoRa*. Управляет скоростью передачи данных, частотными каналами и энергопотреблением устройств.

Архитектура сети *LoRaWAN* базируется на топологии типа «звезда», что, в отличие от ячеистых (*mesh*) сетей, способствует упрощению процессов развертывания и обеспечения масштабируемости системы.

К основным компонентам сети *LoRaWAN* относят:

– конечные устройства (датчики, сенсоры, исполнительные механизмы), которые передают данные на шлюзы;

– шлюзы – принимают сообщения от устройств и транслируют их в интернет через *Ethernet*, *Wi-Fi* или *4G*;

– сетевой сервер – это «мозг» сети. Он управляет сетью: фильтрует дублирующиеся сообщения, контролирует и адаптирует скорость передачи данных для оптимизации энергопотребления;

– сервер приложений получает декодированные данные от сетевого сервера, отвечает за их интерпретацию, хранение и интеграцию [2; 3].

Технические характеристики будут распределены по следующим категориям:

– дальность действия составляет от 5 до 15 км в условиях городской застройки и от 20 до 50 км на открытых пространствах при условии обеспечения прямой видимости;

– скорость передачи данных варьируется в диапазоне от 0,3 до 50 кбит/с в зависимости от используемого коэффициента расширения спектра (от *SF7* до *SF12*);

– используемые частотные диапазоны в нелицензируемом спектре *ISM*: 863–870 МГц для Российской Федерации, 868 МГц для европейского региона и 915 МГц для США;

– минимальное энергопотребление в режиме ожидания составляет несколько микроампер, что обеспечивает автономную работу устройств от аккумуляторных батарей в течение 5–10 лет;

– пропускная способность одной базовой

станции позволяет обеспечивать обслуживание тысяч абонентских устройств одновременно.

В сетях *LoRaWAN* реализован многоступенчатый подход к обеспечению информационной безопасности, а именно шифрование *AES128* для каждого устройства, отдельные ключи для сети и приложения (сетевой сеанс и сеанс приложения), защита от повторных атак и атак типа «человек посередине», мгновенная регенерация/аннулирование ключей [2; 3].

В рамках архитектуры *LoRaWAN* принято выделять разные классы устройств, различающиеся по своим эксплуатационным режимам:

– класс *A* – максимальное энергосбережение: устройство передает данные и открывает два коротких окна приема после передачи. Подходит для автономных датчиков;

– класс *B* – добавляет запланированные окна приема: устройство синхронизируется с сетью и «просыпается» в заданное время. Баланс между энергопотреблением и задержкой;

– класс *C* – почти постоянное окно приема: устройство почти всегда готово к приему данных. Минимальные задержки, но более высокое энергопотребление.

Данная сеть обладает рядом преимуществ, среди которых следует выделить низкое энергопотребление, глубокую проникающую способность, масштабируемость, низкую стоимость, гибкость развертывания, сквозное шифрование.

Технология *LoRaWAN* применяется для реализации разнообразных функциональных решений, в частности умный город, ЖКХ, промышленность, сельское хозяйство, логистика и транспорт, безопасность, медицина и научные исследования.

При анализе возможностей применения технологии *LoRaWAN* в задачах позиционирования следует учитывать отсутствие в данных сетях штатных механизмов определения координат, что отличает их от систем *GPS* или сотовой связи. Тем не менее локализация оконечных устройств может быть реализована посредством косвенных методов, опирающихся на использование существующей сетевой инфраструктуры. Ключевые методы определения местоположения объекта сведены в табл. 1 [2; 3].

Основная цель исследования – разработка модели для определения примерного местоположения на оборудовании «Вега-Абсолют». Обученная нейронная сеть должна осуществлять преобразование входного многомерного вектора данных в выходной многомерный вектор.

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов позиционирования

Метод	Точность	Требования	Применение
<i>TDoA</i>	50–200 м	Синхронизированные БС (≥ 3)	Трекеры, подвижные объекты
<i>RSSI</i>	100–1000 м	Несколько БС	Статичные датчики, грубая оценка
Привязка к БС	0,5–15 км	Одна БС	Счетчики ЖКХ, статичные сенсоры
Гибридный	10–50 м	<i>GPS + LoRaWAN</i>	Транспорт, высокоточное отслеживание

Обучение модели производилось при помощи языка программирования *Python*, в качестве обучающего набора данных (*Training Dataset*) задействованы данные уровня мощности принимаемого от точек доступа сигнала (*RSSI*), полученные в ходе анализа радиообстановки.

В качестве введения в исследование следует рассмотреть ключевые характеристики нейронных сетей, включая структуру перцептрона, функции активации и параметры скорости обучения.

Перцептрон представляет собой упрощенную математическую модель, имитирующую механизмы восприятия информации человеческим мозгом. Концепция была предложена Фрэнком Розенблаттом в 1957 г. и реализована в 1960 г. в устройстве «Марк-1», ставшем первым нейрокомпьютером [4].

Архитектура перцептрона включает три типа компонентов:

- *S*-элементы (сенсоры) предназначены для приема входных сигналов, таких как пиксели изображения или текстовые характеристики;
- *A*-элементы (ассоциативные) осуществляют обработку поступающих данных. При превышении установленного порога суммарного сигнала элемент активируется и передает импульс далее;
- *R*-элемент (реагирующий) аккумулирует сигналы от всех *A*-элементов для формирования финального результата классификации.

Связи между компонентами характеризуются весовыми коэффициентами, определяющими значимость каждого сигнала. В классической модели связи от *S* к *A* имеют фиксированные значения (–1, 0 или 1), в то время как веса связей от *A* к *R* являются обучаемыми параметрами.

Процесс функционирования системы вклю-

чает следующие этапы.

- Подача входных сигналов на *S*-элементы.
- Передача данных к *A*-элементам с учетом соответствующих весовых коэффициентов.
- Активация *A*-элементов при превышении порогового значения и последующая передача сигнала *R*-элементу.
- Суммирование взвешенных сигналов в *R*-элементе, который выдает результат (+1 или –1) в зависимости от достижения порога [4].

Процесс обучения базируется на корректировке весов связей между *A*- и *R*-элементами при возникновении ошибок. Математически доказано, что алгоритм гарантированно сходится к решению за конечное число итераций в случае, если входные данные являются линейно разделимыми.

Функция активации представляет собой математическое преобразование взвешенной суммы входных сигналов нейрона с учетом смещения для определения выходного значения. Ее основная роль заключается в обеспечении нелинейности модели; без данного компонента многослойная сеть состояла бы из последовательности линейных трансформаций, что сделало бы невозможным решение сложных задач, таких как распознавание изображений или машинный перевод. Функция активации определяет интенсивность прохождения сигнала через нейронную структуру [5–6].

Основные виды функций активации и области их применения включают:

- Сигмоида ($\sigma(x) = 1/(1 + e^{-x})$) – отображает выходные данные в интервал от 0 до 1. Применяется преимущественно в выходном слое для задач бинарной классификации, позволяя интерпретировать результат как вероятность события;

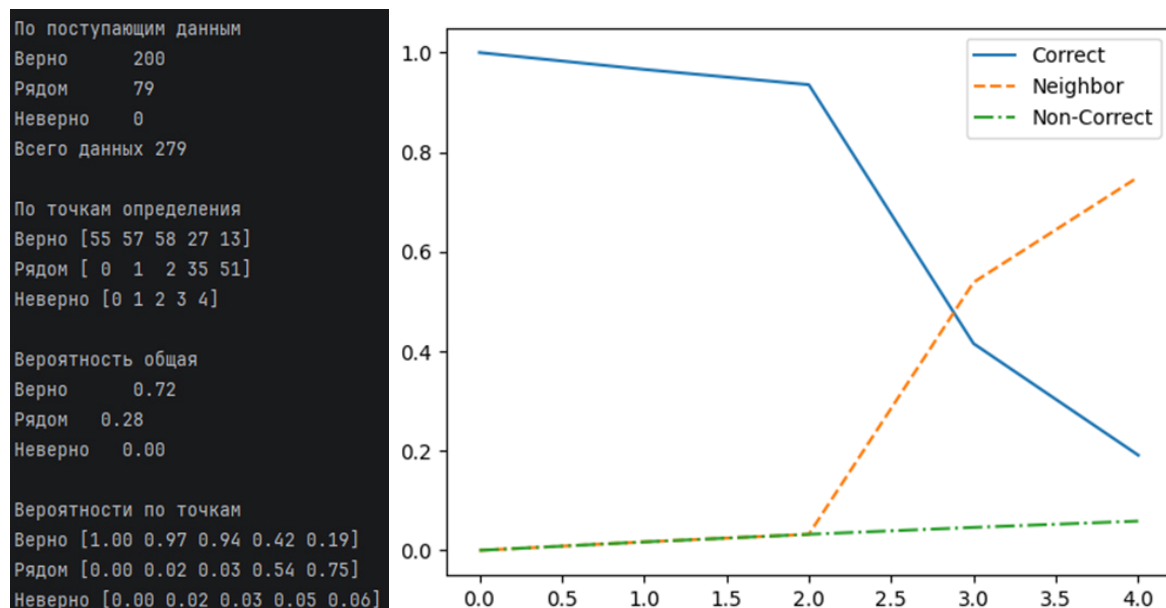


Рис. 1. Табличный и эмпирический методы визуализации экспериментальной зоны

– Гиперболический тангенс ($\tanh$) – аналогична сигмоиде, однако обеспечивает диапазон значений от -1 до 1 , что эффективно при необходимости получения централизованного выхода;

– **ReLU** (*Rectified Linear Unit*) – определяется как $\max(0, x)$. Данная функция возвращает входное значение для положительных аргументов и ноль для отрицательных. Ее использование ускоряет обучение глубоких нейронных сетей и минимизирует проблему затухающих градиентов;

– **Softmax** – применяется в выходном слое при многоклассовой классификации для преобразования вектора значений в распределение вероятностей, где сумма всех элементов равна единице;

– **Leaky ReLU** – модификация функции **ReLU**, предотвращающая деградацию нейронов при отрицательных входных значениях путем присвоения им незначительного веса (αx) [5–6].

Выбор соответствующей функции активации обусловлен спецификой решаемой задачи, типом слоя и общей архитектурой нейронной сети.

Скорость обучения (*learning rate*) представляет собой гиперпараметр, определяющий величину шага при обновлении весов модели в направлении минимума функции потерь. Данный параметр критически влияет на эффективность процесса оптимизации: чрезмерно низкое

значение скорости замедляет сходимость и повышает риск попадания алгоритма в локальный минимум, в то время как слишком высокая скорость может привести к нестабильности обучения и неспособности модели достичь оптимального решения из-за «перепрыгивания» через точки минимума.

Формула обновления веса выглядит примерно так: $w_{\text{новый}} = w_{\text{старый}} - \alpha \cdot \nabla L(w)$, где α – как раз скорость обучения, а $\nabla L(w)$ – градиент функции потерь. Для достижения оптимального баланса в практических задачах применяются различные стратегии: использование фиксированной скорости, применение графиков изменения скорости (например, ступенчатого или экспоненциального снижения для более точной настройки на финальных этапах) или использование адаптивных оптимизаторов, таких как *Adam*, *RMSprop* и *AdaGrad*, которые динамически корректируют скорость обучения для каждого параметра на основе истории градиентов [5–6].

При разработке обучающей модели была выбрана четырехслойная нейронная сеть с функцией активации **ReLU**. Использование большего количества слоев не привело к улучшению качества модели, зато сильно увеличило время обучения. В качестве критерия скорости обучения было выбрано значение $0,001$, поскольку оно обеспечивает компромисс между приемлемой точностью результата и временем,

затраченным на обучение модели.

Ниже представлен фрагмент кода обучения модели на языке *Python*. Полученные в результате обработки данных этой системы будут использованы для определения необходимой зоны местоположения.

```
model = tf.keras.Sequential ([keras.layers.Flatten(input_shape = [5, ]),
    Dense (units = 300, activation='relu'), Dense (units = 100, activation='relu'),
    Dense (units = 10, activation='relu'), Dense (units = 1, activation='relu')])
model.compile (optimizer=keras.optimizers.RMSprop (learning_rate = 0.001,
    centered = True, use_ema = False), loss=keras.losses.MeanSquaredError(),
    metrics=[keras.metrics.Accuracy()])
```

На рис. 1 представлены краткая сводка и графическое отображение результатов определения местоположения абонента, находящегося в различных помещениях опытной зоны, полученных на тестовом наборе данных (*Testing Dataset*) с помощью обученной ранее модели.

Согласно представленным иллюстрациям, нейронная сеть обеспечивает определение координат абонента с точностью 70 % даже в условиях неблагоприятной электромагнитной обстановки и при отсутствии данных о расположении точек доступа *Wi-Fi* или интенсивности их излучаемого сигнала. В указанных обстоятельствах система успешно функционирует,

опираясь исключительно на уровень принимаемого абонентом сигнала.

Следует учитывать, что любые модификации в конфигурации сети *Wi-Fi*, включая отключение точек доступа, изменение мощности сигнала или их перемещение, обуславливают необходимость повторного сбора данных для формирования обучающей выборки и проведения полного цикла переобучения модели.

Протокол *LoRaWAN* представляет собой энергоэффективную технологию в сфере интернета вещей (*IoT*), характеризующуюся значительной дальностью передачи сигнала, низким уровнем энергопотребления и высокой степенью защиты данных. Данное решение является оптимальным для развертывания крупномасштабных сетевых структур, состоящих из автономных сенсорных устройств, где критически важными параметрами являются длительный срок эксплуатации от элементов питания и стабильность соединения на больших дистанциях.

Кроме того, спецификации протокола позволяют осуществлять позиционирование объектов без использования спутниковых систем (*GPS*), однако данный метод имеет определенные ограничения по точности. В качестве наиболее эффективных подходов можно выделить метод *TDoA*, обеспечивающий умеренную точность (в диапазоне 50–200 метров), а также гибридные конфигурации (сочетание *LoRaWAN* и *GPS*) для сценариев, предъявляющих повышенные требования к прецизионности координат.

Выбор конкретной методологии определяется спецификой решаемой задачи, выделенным бюджетом и необходимым уровнем точности.

Литература

1. Официальный сайт компании RealTrac. Виды позиционирования объектов. Для чего применима каждая из технологий определения местоположения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://realtrac.ru/ru/company/blog/the-types-of-position-objects-what-applies-each-of-the-positioning-technologies>.
2. Официальный сайт LoRa Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://loralliance.org>.
3. Справочно-информационная система Lavritech. Общие сведения о технологии LoRa и сети LoRaWAN [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://wiki.lavritech.com/soft/lavritech/firmware/options/lora-fs/lrfs-info/?ysclid=mny361m09284295346>.
4. Викиконспекты. Нейронные сети, перцептрон [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://nerc.itmo.ru/wiki/index.php?title=Нейронные_сети,_перцептрон.
5. Библиотека программиста proglib. Все, что нужно знать о нейронных сетях [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://proglib.io/p/about-neural-networks>.
6. Яндекс-образование. Первое знакомство с полносвязными нейросетями [Электронный

ресурс]. – Режим доступа : <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/pervoe-znakomstvo-s-polnosvyaznymi-nejrosetyami>.

References

1. Ofitsialnij sayt kampanii RealTrac. Vidy pozitsionirovaniya obektov. Dlya chego primenima kazhdaya iz tekhnologij opredeleniya mestopolozheniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://realtrac.ru/ru/company/blog/the-types-of-position-objects-what-applies-each-of-the-positioning-technologies>.
2. Ofitsialnij sayt LoRa Alliance [Electronic resource]. – Access mode : <https://lora-alliance.org>.
3. Spravochno-informatsionnaya sistema Lavritech. Obshchie svedeniya o tekhnologii LoRa i seti LoRaWAN [Electronic resource]. – Access mode : <https://wiki.lavritech.com/soft/lavritech/firmware/options/lora-fs/lrfs-info/?ysclid=mny361m09284295346>.
4. Vikikonspekty. Nejronnye seti, pertseptron [Electronic resource]. – Access mode : https://nerc.itmo.ru/wiki/index.php?title=Nejronnye_seti,_pertseptron.
5. Biblioteka programmista proglib. Vse, chto nuzhno znat o nejronnykh setyakh [Electronic resource]. – Access mode : <https://proglib.io/p/about-neural-networks>.
6. YAndeks-obrazovanie. Pervoe znakovstvo s polnosvyaznymi nejrosetyami [Electronic resource]. – Access mode : <https://education.yandex.ru/handbook/ml/article/pervoe-znakomstvo-s-polnosvyaznymi-nejrosetyami>.

© А.С. Брагин, Е.В. Кокорева, 2026

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА АНОМАЛИЙ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

Э.С. ВОРОНИН, В.Г. ДОРОГОВ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: предиктивный анализ; аномалии; системы мониторинга; метрики.

Аннотация: В статье исследуются проблемы повышения точности прогнозирования инцидентов в системах мониторинга за счет разработки методики двухпоточкового слияния временных рядов метрик и семантических векторов логов. Цель работы заключается в разработке и программной реализации нейросетевой архитектуры с поздним слиянием, позволяющей выявлять предвестники аномалий с достаточным временем упреждения и низким уровнем ложных срабатываний. Задачами исследований является анализ предметной области, разработка модели и методики предиктивного анализа аномалий с двухпоточковой архитектурой глубокой нейронной сети. Методы исследований основаны на использовании теории множеств, теории оптимизации. Разработан механизм двухпоточковой обработки данных, включающий поток метрик в виде одномерной мультимасштабной свертки с *max*-пулингом для захвата локальных пиков аномалий; поток логов в виде двунаправленной *LSTM* с маскированным аддитивным вниманием для семантического кодирования событий. Гипотеза исследования состоит в том, что предложенная архитектура позволяет компенсировать неинформативность одних признаков ранними сигналами из других и подавлять ложные срабатывания за счет совместного анализа разнородных источников данных. Разработана модифицированная функция потерь на основе взвешенной фокальной функции потерь, учитывающая дисбаланс классов и ценность времени упреждения. Предложенная методика обеспечивает практический выигрыш по точности прогнозирования относительно моделей, использующих только одну модальность данных: значение *F1*-меры увеличилось с 0,488–0,546 до 0,800, *ROC-AUC* достиг 0,981 при сохранении низкой интенсивности ложных срабатываний (примерно 0,06/час) и среднем времени упреждения более 2 минут.

В задачах проактивного мониторинга критически важно обеспечить заблаговременность выдачи предупреждений. Для этого вводится горизонт прогнозирования $h_{pred} > 0$ и защитный интервал $\delta \geq 0$, который определяет «слепую зону» непосредственно перед сбоем, когда признаки деградации становятся необ-

ратимыми, а поведение системы перестает быть репрезентативным для раннего обнаружения [1; 2]. Для каждого дискретного момента t (с шагом Δt) определим тернарную метку $y_t \in \{0, 1, NaN\}$, задающую принадлежность окна наблюдения к обучающей выборке:

$$y_t = \begin{cases} 1, & \text{если } \exists \text{ инцидент в } (t + \delta, t + h_{pred}], \\ 0, & \text{если в интервале } (t, t + h_{pred}] \text{ инцидентов нет,} \\ NaN, & \text{если } \exists \text{ инцидент в } (t, t + \delta]. \end{cases}$$

Моменты из «слепой зоны» $[T_{fail} - \delta, T_{fail})$ исключаются из расчета функции потерь. Это предотвращает коллизии: на этапе глубокой деградации признаки аномалии максимально выражены, и принудительная установка метки 0 заставила бы модель «забывать» паттерны деградации [3].

Обучающая выборка – это множество размеченных окон $\mathcal{D}_{train} = \{(S_t, y_t, \tau_t)\}_{t \in T_{train}}$, где $S_t = (X_{t-w:t}, V_{t-w:t}^{agg}, M)$ – объединенное состояние в момент t , $y_t \in \{0, 1; NaN\}$ является тернарной меткой, $\tau_t \geq 0$ – время упреждения до ближайшего сбоя. Определим подмножество валидных обучающих примеров $T_{valid} \subset T_{train}$ как моменты, где y_t не равен NaN: $T_{valid} = \{t \in T_{train} \mid y_t \neq NaN\}$.

Пусть $N_{valid} = |T_{valid}|$ – количество валидных окон. Задача предиктивного обучения – минимизация эмпирического риска с добавлением L2-регуляризации весов:

$$\theta : \theta^* = \arg \min_{\theta} \left(J(\theta) + \frac{\lambda_{reg}}{2} \|\theta\|_2^2 \right),$$

где $\lambda_{reg} > 0$ – коэффициент регуляризации, снижающий переобучение при разреженных данных, а $J(\theta)$ – эмпирический риск на валидных окнах с динамической функцией потерь, учитывающей упреждение:

$$(\theta) = -\frac{1}{N_{valid}} \sum_{t \in T_{valid}} \mathcal{L}(f_{\theta}(S_t), y_t, \tau_t).$$

$\mathcal{L}(p_t, y_t, \tau_t)$ – покомпонентная функция потерь, определенная с учетом дисбаланса классов и ценности времени упреждения. Задача – найти наиболее подходящие параметры θ^* отображения $f_{\theta} : S_t \rightarrow \hat{y}_t$, аппроксимирующего апостериорную вероятность ($y_t = 1 \mid S_t$) возникновения сбоя на заданном горизонте [4; 5].

Для моментов, предшествующих инциденту ($y_t = 1$), $\tau_t = T_{fail} - t$; для $y_t = 0$ положим $\tau_t = 0$. Если в пределах горизонта h_{pred} несколько инцидентов, τ_t определяется по ближайшему.

Монотонная весовая функция для стимулирования раннего прогнозирования:

$$\omega(\tau) = \min(1 + \lambda_{lt} \tau, \omega_{max}), \lambda_{lt} > 0, \omega_{max} = 10.$$

Все положительные примеры $\tau > 0$ считаем

одинаково значимыми с точностью до веса $\omega(\tau)$.

Взвешенная фокусирующая функция потерь с учетом времени упреждения. Пусть $\mathcal{D}$ – множество моментов с $y_t \in \{0, 1\}$ (не NaN), $N = |\mathcal{D}|$. Стандартная кросс-энтропия чувствительна к сильному дисбалансу и приводит к доминированию простых отрицательных примеров. С учетом необходимости раннего обнаружения и устранения «мерцания» тревог предлагается целевая функция риска $J(\theta)$ – модифицированный *focal loss*:

$$J(\theta) = -\frac{1}{N} \sum_{t \in \mathcal{D}} \left[\underbrace{\omega(\tau_t) \alpha_t (1 - p_t)^y \log(p_t)}_{\text{штраф с фокусом и упреждением}} \right] \rightarrow \min,$$

где $p_t = \hat{y}_t$ при $y_t = 1$ и $p_t = 1 - \hat{y}_t$ при $y_t = 0$; весовой коэффициент класса $\alpha_t = \alpha$ для $y_t = 1$ и $\alpha_t = 1 - \alpha$ для $y_t = 0$, $\alpha \in (0, 1)$ – гиперпараметр, балансирующий вес положительного класса. Использование предложенной модифицированной функции потерь вместо стандартной бинарной кросс-энтропии позволяет одновременно скомпенсировать два негативных фактора. Во-первых, компенсируется выраженный дисбаланс классов, так как предаварийные состояния составляют лишь малую долю выборки [4].

Вторая проблема связана с важностью раннего прогноза. Если предсказание поступает всего за несколько секунд до необратимого отказа, у инженеров просто не остается времени на реакцию. Интеграция функции $\omega(\tau_t)$ пропорционально увеличивает штраф за ошибки на ранних этапах горизонта прогнозирования, стимулируя модель выявлять первоначальные предвестники деградации. Гиперпараметры выбираются поиском по сетке или случайным поиском на валидационной выборке с оптимизацией *F1-score* и *ALT*. В табл. 1 рекомендуемые диапазоны и обоснование.

Разработана методика предиктивного анализа аномалий с двухпоточковой архитектурой глубокой нейронной сети.

Этап 1. Синхронизация и оконное формирование мультимодальных данных. Формируем единое состояние системы St путем временного выравнивания рядов метрик и векторов логов в скользящем окне:

$$S_t = (X_{t-w:t}, V_{t-w:t}^{agg}, M),$$

Таблица 1. Гиперпараметры модели

Параметр	Описание	Значение	Обоснование
Δt	Шаг дискретизации	5–60 с	Слишком малый шаг увеличивает размерность и шум, слишком большой – теряет детали. Рекомендуется выбирать по распределению логов
w	Количество шагов в окне	20–100	$w\Delta t$ должна покрывать типичное время развития инцидента (например, 5–30 минут)
d	Размерность семантического вектора	100 (<i>fastText</i>)	Компромисс между вычислительной эффективностью и качеством представления
h	Размер скрытого состояния <i>LSTM</i>	64–256	Большая емкость может привести к переобучению, малая – к недостаточной выразительности
C	Количество фильтров в свертке	32–128	Определяет количество извлекаемых локальных паттернов
m	Размер ядра свертки	[3, 5, 7] (<i>multi-scale</i>)	Разные размеры ядер позволяют захватывать как краткосрочные, так и среднесрочные тренды

где $X \in \mathbb{R}^{k \times w}$ – матрица нормализованных метрик (k метрик на w временных отсчетах), $V^{agg} \in \mathbb{R}^{(d \times w)}$ – последовательность семантических векторов логов (полученных алгоритмом ϕ), $M \in \{0, 1\}^w$ – маска наличия сообщений, w –

размер окна наблюдения.

Этап 2. Извлечение локальных трендов потока метрик.

Преобразуем сырые метрики в компактный вектор признаков с помощью мультимасштабных свертки:

$$H_{metrics} = \oplus_{m \in \{3, 5, 7\}} GlobalMaxPool(ReLU(Conv1D_m(X))) \in \mathbb{R}^{3C},$$

где $Conv1D_m$ – одномерная свертка с ядром размера m , C – количество фильтров, $\oplus$ – конкатенация.

Этап 3. Семантическое кодирование потока логов с механизмом внимания. Вычисляем контекстный вектор логов, учитывающий последовательность и важность событий:

$$H_{logs} = \sum_{i=1}^w \alpha_i h_i, \quad \alpha_i = \frac{\exp(e_i) M_i}{\sum_{j=1}^w \exp(e_j) M_j},$$

где $h_i = BiLSTM(v_i)$ – скрытое состояние двунаправленной *LSTM* для вектора $v_i = V_{:,i}^{agg}$, $e_i = v_a^T \tanh(W_a h_i + b_a)$ – энергия внимания.

Этап 4. Агрегация признаков пространств. Формируем объединенный вектор состояния системы конкатенацией (позднее слияние):

$$H_{total} = H_{metrics} \oplus H_{logs} \in \mathbb{R}^{3C+2h}.$$

Этап 5. Вероятностная оценка риска инци-

дента на горизонте прогнозирования:

$$\hat{y}_t = \sigma(W_f \cdot H_{total} + b_f) \in [0, 1],$$

где $\sigma(z) = 1 / (1 + e^{-z})$ – сигмоидная функция, W_f и b_f – весовая матрица и смещение выходного слоя.

Поток метрик: мультимасштабные свертки и глобальный пулинг. Входная матрица метрик $X \in \mathbb{R}^{k \times w}$ интерпретируется как многоканальный временной ряд. Для захвата паттернов разной длительности (краткосрочные скачки, среднесрочные тренды) применяется мультимасштабная сверточная архитектура: три параллельные ветви *Conv1D* с ядрами $m \in \{3, 5, 7\}$. В каждой ветви – C обучаемых фильтров (в реализации $C = 64$). Свертка идет по временной оси, число каналов метрик сохраняется. После свертки – *ReLU*, затем глобальный *max*-пулинг (*GlobalMaxPool1d*), который для каждого фильтра оставляет максимальное значение по времени. В реализации используется свертка без дополнения (*padding* = 'valid'), так что длина

временной оси после свертки уменьшается:

$$w' = w - m + 1.$$

Итоговое представление метрик – конкатенация выходов трех ветвей:

$$H_{metrics} = H_{metrics}^{(3)} \oplus H_{metrics}^{(5)} \oplus H_{metrics}^{(7)} \in \mathbb{R}^{3C}.$$

После свертки для каждой ветви получаем тензор размерности $(C, w - m + 1)$. Глобальный *max*-пулинг по временной оси дает размерность $(C, 1)$ каждый из C фильтров превращается в одно число (максимальную активацию по всем временным позициям). После удаления оси длины 1 (операция *squeeze*) формируется вектор размерности C . Конкатенация трех таких векторов (для $m = 3, 5, 7$) дает $H_{metrics}$ размерности $3C$. В реализации $C = 64$, значит $H_{metrics} \in \mathbb{R}^{192}$. Вектор $H_{metrics}$ содержит информацию о локальных паттернах на трех масштабах. Модель одновременно реагирует и на резкие единичные выбросы, и на плавные изменения.

Выравнивание гетерогенных потоков данных. Временная ось разбивается на полуинтервалы I_i длины Δt , для каждого интервала: из потока метрик берем последнее измеренное значение; из потока логов собираем все сообщения, векторизуем оператором ϕ и вычисляем их среднее. Если в интервале I_i логов нет, агрегированный вектор $V_{:,i}^{agg}$ заполняется нулями, а

маска M_i устанавливается в 0. Так оба потока приводятся к единой временной сетке $\mathbb{R}^{k \times w}$ и $\mathbb{R}^{d \times w}$, а маска сохраняет информацию о наличии/отсутствии логов.

Поток логов: *BiLSTM* с вниманием и маскированием. Последовательность агрегированных векторов логов $v_1, v_2, \dots, v_w$ (где $v_i = V_{(:,i)}^{agg} \in \mathbb{R}^d$) и маска наличия сообщений M_i подаются на вход двунаправленной *LSTM*. *BiLSTM* обрабатывает последовательность в прямом и обратном направлениях, формируя для каждого шага i скрытое состояние $h_i = [h_i; \bar{h}_i] \in \mathbb{R}^{2h}$.

Оценку мультимодальной модели на тестовой выборке провели при двух порогах: стандартном $\theta = 0,5$ и рассчитанном $\theta_{opt} = 0,92$ (выбран по максимуму *F1*-меры перебором порогов *threshold_optimization*). Эксперименты выявили, что показатель *F1*-меры у предлагаемой модели достиг значения 0,800 при высоких значениях других метрик качества: *ROC-AUC* = 0,981, *PR-AUC* = 0,666 и *MCC* = 0,800. Для сравнения, модели, полученные из мультимодальной модели удалением одной из модальностей, продемонстрировали более низкие значения *F1*-меры – 0,488 и 0,546 соответственно. Апробация на тестовой выборке с выраженным дисбалансом классов (доля предаварийных окон составила лишь 0,28 %) и зашумленностью подтвердила хорошую обобщающую способность алгоритма при сохранении низкой интенсивности ложных срабатываний (примерно 0,06/час).

Литература

1. Bojanowski, P. Enriching Word Vectors with Subword Information / P. Bojanowski, E. Grave, A. Joulin, T. Mikolov // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2017. – Vol. 5. – P. 135–146.
2. He, P. Drain: An Online Log Parsing Approach with Fixed Depth Tree / P. He, J. Zhu, Z. Zheng, M.R. Lyu // 2017 IEEE International Conference on Web Services (ICWS), 2017. – P. 33–40.
3. Асито, Ф. Предсказательная аналитика с KNIME / Ф. Асито; пер. с англ. А.Ю. Гинько. – М. : ДМК Пресс, 2025. – 360 с.
4. Aggarwal, C.C. Outlier Analysis / C.C. Aggarwal. – New York : Springer, 2013. – 446 p.
5. Lundberg, S.M. A Unified Approach to Interpreting Model Predictions / S.M. Lundberg, S.-I. Lee // Advances in Neural Information Processing Systems, 2017. – P. 4765–4774. – DOI: 10.48550/arXiv.1705.07874.

References

3. Asito, F. Predskazatel'naya analitika s KNIME / F. Asito; per. s angl. A.YU. Ginko. – M. : DМК Press, 2025. – 360 s.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ МОДЕЛИ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ЗАПРОСОВ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ НА МАЛЫХ ВЫБОРКАХ

Д.Е. ЖАРАВИН, А.А. СУКОНЩИКОВ

ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет»,
г. Вологда

Ключевые слова и фразы: активное обучение; аугментация данных; классификация текстов; машинное обучение; обработка естественного языка; трансферное обучение.

Аннотация: В статье приводится анализ методов обучения нейронных сетей для классификации текстовых данных при ограниченном объеме обучающей выборки. Нехватка размеченных данных часто приводит к проблемам переобучения, нестабильности обобщения, дисбалансу классов и повышенному влиянию шума. Цель работы состоит в сравнении и оценке эффективности аугментации данных, трансферного и активного обучения в задаче распределения обращений службы технической поддержки. Для достижения заявленной цели были подготовлены и обработаны исходные данные, реализовано дообучение облегченной предобученной модели, применены методы аугментации и проведен отбор примеров для активного обучения. Гипотеза исследования состоит в том, что применение предобученной языковой модели совместно с аугментацией и активным обучением повышает качество классификации по метрике *Macro-F1* по сравнению с базовым подходом на основе *TF-IDF*. Для проверки гипотезы проведен эксперимент на наборе из 1000 обезличенных писем, распределенных по пяти классам. Результаты показали, что *DoBERT* превосходит базовый метод по метрике *Macro-F1*, а применение аугментации и активного обучения обеспечивает дополнительное улучшение. Максимальное среднее значение *Macro-F1* составило 0,78 для *DoBERT* с активным обучением.

Введение

Автоматизация обработки текстовых данных является востребованной задачей в аналитике обращений, поддержке пользователей, чат-ботах и виртуальных помощниках, каждая из этих областей содержит более узкие задачи сортировки, категоризации и классификации, поэтому обработка текстовых данных относится к фундаментальным направлениям анализа естественного языка.

В реальных условиях объем размеченных данных часто ограничен, особенно при решении специализированных технических задач, для которых сложно собрать достаточную обучающую выборку [7], при этом доступные данные могут быть зашумлены и не отражать всего разнообразия обращений. Цель исследования

состоит в сравнении методов повышения качества классификации текстовых запросов при ограниченном объеме размеченных данных.

Теоретические основы обучения на малых выборках

При обучении моделей на ограниченных выборках наиболее распространенной проблемой является переобучение, при котором вместо поиска закономерностей модель хорошо запоминает обучающие примеры, а на новых данных выдает нестабильный результат [6]. На примере писем в техническую поддержку университета модель может распознавать конкретную простую формулировку «не работает принтер», но не ее общий смысл, в результате чего те же проблемы, описанные иначе, классифици-

Таблица 1. Сравнение моделей

Модель	<i>Macro-F1</i> , среднее
<i>TF-IDF</i> и логистическая регрессия	0,62
<i>DoBERT</i> без аугментации	0,71
<i>DoBERT</i> с аугментацией	0,76
<i>DoBERT</i> с активным обучением	0,78

руются неверно [1].

Переобучение нейронной сети возникает из-за малого количества примеров каждого класса и высокой сложности ее внутренней архитектуры. При выборке из 1000 записей, распределенных по пяти классам, среднее количество примеров одного класса составляет 200, однако фактическое число наблюдений может различаться из-за дисбаланса классов, чего недостаточно для надежного обучения сложной архитектуры. В результате качество меняется от одного разбиения данных к другому, поэтому в таких случаях оценивать модель необходимо по среднему значению и разбросу результатов нескольких запусков [5].

Таким образом, основные методы борьбы с переобучением направлены на уменьшение склонности модели запоминать данные или на снижение ее сложности [2]. К отдельному классу подобных методов относится аугментация данных, которая создает новые варианты текстов и расширяет обучающую выборку при помощи трех разных алгоритмов: синонимизация заменяет отдельные слова близкими по значению, перефразирование изменяет структуру предложения при сохранении общего смысла, а бэктрансляция переводит текст на другой язык и обратно. Метод трансферного обучения предполагает дообучение уже предобученной языковой модели на прикладном наборе данных, что позволяет использовать общие семантические закономерности, полученные на больших корпусах заранее подготовленных данных. Метод активного обучения решает другую задачу, алгоритм выбирает наиболее информативные или неопределенные примеры, после чего эксперту необходимо вручную разметить информацию и добавить в обучающую выборку.

Материалы и методы

В исследовании используется реальный на-

бор из 1000 обезличенных писем, разделенных на пять классов, соответствующих наиболее распространенным запросам сотрудников и студентов в техническую поддержку университета. Набор данных был случайно разделен на обучающую, валидационную и тестовую выборки в соотношении 70:15:15, при этом тестовая выборка не использовалась при настройке модели.

Программная реализация выполнена на языке *Python* с использованием библиотек *NumPy* и *Pandas* [4]. Основной метрикой качества выбрана *Macro-F1*, то есть среднее значение *F1*-меры по всем классам. Дополнительно для каждого класса рассчитывались точность и полнота, а характер ошибочных предсказаний модели анализировался с использованием матрицы ошибок [3].

Предобработка данных включала разбиение текста на токены, удаление слов, не несущих значимой семантики, приведение слов к нормальной форме и преобразование текста в числовое представление. Для базового решения использовался метод векторизации *TF-IDF*, после чего вектор подавался на вход логистической регрессии. Для трансферного обучения применялась облегченная предобученная модель *DoBERT*, которая дообучалась на наборе данных университета. Для реализации алгоритма активного обучения использовались архивные данные организации.

Результаты исследования

Итоговое сравнение конфигураций выполнялось на наборе из 1000 обезличенных писем технической поддержки, значения метрики *Macro-F1*, представленные в табл. 1, рассчитаны как средние по десяти запускам с различными вариантами разбиения данных.

Метод *TF-IDF* и логистическая регрессия представляют собой классический подход, при котором текст преобразуется в числовой вектор

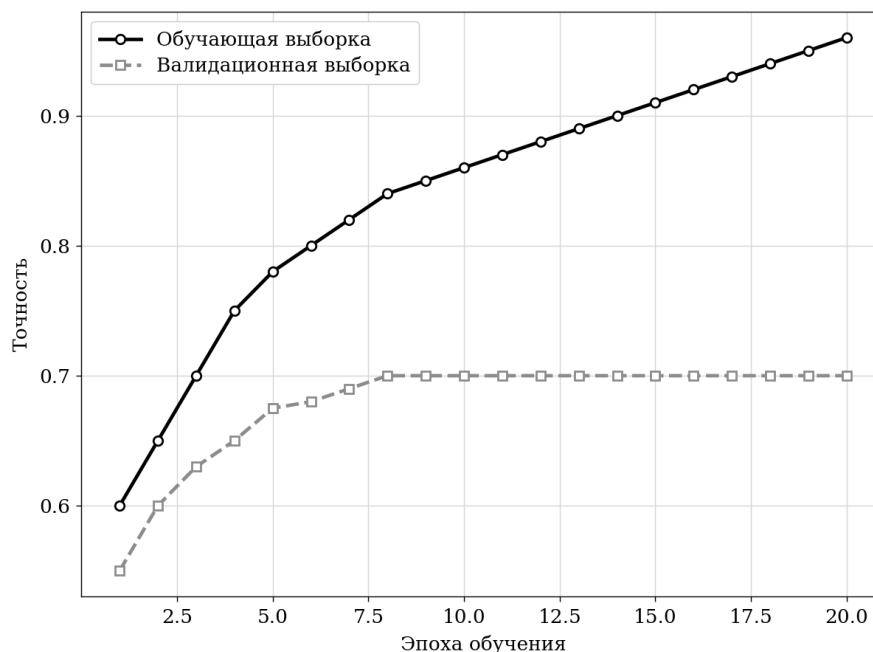


Рис. 1. Динамика изменения точности обучения модели

с учетом частоты терминов. Этот вариант показал *Macro-F1* 0,62 и использовался как базовый уровень.

DoBERT без аугментации представляет собой облегченную версию модели семейства *BERT*, предобученную на большом объеме текстовых данных, в том числе на русском языке. Дообучение на наборе университета обеспечило значение *Macro-F1*, равное 0,71, что подтверждает преимущество трансферного обучения.

В варианте *DoBERT* с аугментацией применялись стандартные методы синонимизации, перефразирования и бэктрансляции, что еще повысило *Macro-F1* до 0,76.

В эксперименте *DoBERT* с активным обучением из исходного набора данных были выделены 100 самых неопределенных примеров, для которых вручную были присвоены метки соответствующих категорий, затем данные были добавлены в обучающую выборку. В результате обучения модели получено значение *Macro-F1* 0,78.

Анализ процесса обучения модели

Дополнительно к результатам проведенного эксперимента был визуализирован график обучения базовой конфигурации мо-

дели *DoBERT* без применения методов аугментации и активного обучения, представленный на рис. 1. Обе кривые отражают изменение точности обучения нейронной сети на обучающей и валидационной выборках в процессе работы алгоритма.

Из графика видно, что в течение первых семи эпох точность модели увеличивается на обеих выборках. Однако начиная с восьмой эпохи кривые обучения начинают сильно расходиться, значение метрики на валидационной выборке перестает улучшаться, тогда как на обучающей продолжает расти. Это свидетельствует о переобучении нейронной сети, вместо поиска закономерностей модель начинает просто запоминать обучающие примеры, игнорируя контекст и связи между элементами. Такая модель теряет точность классификации на новых примерах и становится менее эффективной. Поэтому для решения данной задачи часто используется метод ранней остановки, который вовремя распознает проблему и прерывает работу алгоритма, предотвращая дальнейшее переобучение.

Обсуждение результатов

Таким образом, метод трансферного обучения обеспечил основной прирост метрики

Macro-F1 по сравнению с базовым экспериментом. Алгоритмы аугментации и активного обучения дали дополнительное улучшение качества, однако сами по себе они не обеспечивают такого результата, а их эффективность достигается совместно с предобученными моделями.

Классическая модель на основе *TF-IDF* остается базовым решением, пригодным для большинства задач классификации текстовых данных, однако добиться высокой точности можно лишь в том случае, если исходных данных для обучения нейронной сети достаточно, а дисбаланс классов сведен к минимуму.

Дополнительным маркером переобучения модели или некачественной разметки являются ошибки системы на пограничных случаях. Для решения данной проблемы имеет смысл использовать активное обучение вне зависимости от трансферного, чтобы вручную уточнить определение категорий для близких классов.

При внедрении модели в промышленное использование важно учитывать вычислительные затраты и время выполнения алгоритма. Трансферное обучение и аугментация являются высокозатратными методами по сравнению с классическими векторными решениями. Активное обучение зависит от человеческого фактора и требует участия эксперта. Таким образом, в подобных системах необходимо соблюдать баланс между вычислительными расходами и приростом точности классификации данных.

Однако у такой системы есть ряд преимуществ, основной выигрыш дает способность модели обучаться вне зависимости от работы классификатора. Это позволяет использовать активное обучение как дополнительную разметку данных при последующем обновлении модели. Результаты работы эксперта имеют

приоритет для алгоритма, накапливаются и затем используются при дообучении модели. Постепенно такой цикл уменьшает количество ошибок.

Заключение

В статье рассмотрены проблемы обучения моделей классификации текстовых запросов при ограниченном объеме данных, включая переобучение, нестабильность обобщения, дисбаланс классов и, как следствие, повышенное влияние шума. Для решения этих проблем исследованы методы трансферного обучения, аугментации данных и активного обучения.

Результаты экспериментов показали, что трансферное обучение способно повысить основное качество классификации по сравнению с базовым методом *TF-IDF*, применение аугментации данных увеличивает разнообразие обучающей выборки, а активное обучение позволяет сосредоточить экспертную разметку только на самых неопределенных примерах. Наибольшее значение метрики *Macro-F1*, равное 0,78, получено при использовании модели *DoBERT* с активным обучением.

Перспективы дальнейших исследований включают использование алгоритмов самообучения совместно с аугментацией данных и дополнительным применением генетических алгоритмов для настройки гиперпараметров модели. Внедрение предложенных методов в систему технической поддержки университета позволит автоматизировать распределение обращений сотрудников и студентов, однако для сохранения качества классификации необходимо контролировать новые данные и периодически дообучать модель.

Литература

1. Бухаров, А.Д. Методы синтетической аугментации данных для улучшения классификации текстовых запросов на малых выборках / А.Д. Бухаров, Д.Е. Жаравин // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2026. – № 2(32). – С. 56–59. – EDN: QMQEGC.
2. Лэнхэм, М. Эволюционное глубокое обучение : руководство / М. Лэнхэм; пер. с англ. А.В. Логунова. – М. : ДМК Пресс, 2023. – 440 с.
3. Майтак, Р.В. Численные методы оптимизации архитектур машинного обучения : учеб. пособие / Р.В. Майтак, П.А. Пылов, А.В. Протодяконов. – Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 116 с.
4. Маккинни, У. Python и анализ данных : 2-е изд., испр. и доп. / У. Маккинни; пер. с англ. А.А. Слинкина. – М. : ДМК Пресс, 2020. – 540 с.
5. Панов, М.А. Анализ данных с использованием языка программирования Python : учеб. по-

сание / М.А. Панов. – Екатеринбург : УрГЭУ, 2024. – 329 с.

6. Шалев-Шварц, Ш. Идеи машинного обучения : учеб. пособие / Ш. Шалев-Шварц, Ш. Бен-Давид; пер. с англ. А.А. Слинкина. – М. : ДМК Пресс, 2019. – 436 с.

7. Zharavin, D.E. Problems of Training a Neural Network for Text Query Classification on Small Data / D.E. Zharavin, A. Bukharov, A. Sukonschikov // Proceedings of the 2026 8th International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino). – Piscataway : Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2026. – P. 1–4. – DOI: 10.1109/Inforino68543.2026.11556563. – ISBN: 979-8-3315-5116-2.

References

1. Bukharov, A.D. Metody sinteticheskoy augmentatsii dannykh dlya uluchsheniya klassifikatsii tekstovykh zaprosov na malykh vyborkakh / A.D. Bukharov, D.E. Zharavin // Vestnik Vologodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnicheskie nauki. – 2026. – № 2(32). – S. 56–59. – EDN: QMQEGC.

2. Lenkhem, M. Evolyutsionnoe glubokoe obuchenie : rukovodstvo / M. Lenkhem; per. s angl. A.V. Logunova. – М. : ДМК Press, 2023. – 440 s.

3. Majtak, R.V. CHislennye metody optimizatsii arkhitektur mashinnogo obucheniya : ucheb. posobie / R.V. Majtak, P.A. Pylov, A.V. Protodyakonov. – Vologda : Infra-Inzheneriya, 2025. – 116 s.

4. Makkinni, U. Python i analiz dannykh : 2-e izd., ispr. i dop. / U. Makkinni; per. s angl. A.A.Slinkina. – М. : ДМК Press, 2020. – 540 s.

5. Panov, M.A. Analiz dannykh s ispolzovaniem yazyka programirovaniya Python : ucheb. posobie / M.A. Panov. – Ekaterinburg : UrGEU, 2024. – 329 s.

6. SHalev-SHvarts, SH. Idei mashinnogo obucheniya : ucheb. posobie / SH. SHalev-SHvarts, SH. Ben-David; per. s angl. A.A. Slinkina. – М. : ДМК Press, 2019. – 436 s.

© Д.Е. Жаравин, А.А. Суконщиков, 2026

НЕЙРО-НЕЧЕТКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНЫМ ЭНЕРГОКОМПЛЕКСОМ НА ОСНОВЕ ANFIS 4×MISO С ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТЬЮ К ПОТЕРЕ ВХОДОВ

М.А. ЗУБАРЕВ, О.С. НУЙЯ

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: системный анализ; нейро-нечеткое управление; ANFIS 4×MISO; гибридный энергетический комплекс; микро-ГЭС; отказоустойчивость; константа Липшица.

Аннотация: Цель исследования – разработка специального математического обеспечения нейро-нечеткой системы управления автономным гибридным энергетическим комплексом на основе структуры ANFIS 4×MISO, сохраняющей работоспособность при потере части входных сигналов. Задачи: обосновать декомпозицию отображения $F: R^{18} \rightarrow R^4$ на четыре независимые задачи MISO; описать математические модели узлов комплекса; формализовать пятислойную архитектуру ANFIS, инициализацию правил методом Fuzzy C-Means и гибридный алгоритм обучения; построить модель отказоустойчивости при потере входов; выполнить численную верификацию. Гипотеза исследования: гибридный энергокомплекс, объединяющий прогностический нейро-нечеткий уровень ANFIS Sugeno с базовыми узлами релейной и ПИД-автоматики, способен оставаться достаточно надежным для круглогодичной автономной работы даже при отказе части датчиков. Методы: декомпозиция на четыре задачи MISO, кластеризация Fuzzy C-Means, вывод Такаги – Сугено первого порядка, гибридное обучение, аналитические стратегии замещения отсутствующих входов (импутация математическим ожиданием, условное ожидание, маргинализация функции принадлежности) с липшицевой оценкой отклонения выхода; численный эксперимент в среде MATLAB R2025b. Результаты: получены аналитические модели узлов и модель отказоустойчивости с замкнутой формулой маргинализации функции принадлежности; достигнуты $RMSE = 0,0817$ и $MAE = 0,0512$ при расхождении обучающей и валидационной ошибок не более 2 %; на полном наборе 525 600 точек 171 из 228 сценариев отказов (75 %) удовлетворил пороговым требованиям; обеспечение компактно (608 параметров, менее 100 кБ) и пригодно для одноплатных модулей. Новизна – конфигурация «четыре узла, шесть входов, восемь правил» и формализация отказоустойчивости управляющей ANFIS-модели при потере датчиков.

Введение

Управление автономной гибридной энергетической системой с разнородными узлами – гидроэнергетическим, теплонасосным и аккумуляторно-генераторным – представляет собой задачу согласованного распределения потоков электрической и тепловой энергии при сезонной изменчивости ресурса и нестационарной нагрузке. Объект нелинеен, многомерен, подвержен нештатным режимам; потеря части сенсорных сигналов на удаленных площадках практически неизбежна. Поэтому требуется

формальная гарантия работоспособности алгоритма при деградации входной информации.

Нейро-нечеткие системы вывода, в первую очередь адаптивная нейро-нечеткая система вывода ANFIS [1], широко применяются в системах управления микросетями [3–7]: в большинстве случаев реализуется единственная модель вывода или попарная координация [15], многовыходные конструкции – как единые МИМО-структуры [8]. Вопрос поведения уже обученной управляющей ANFIS-модели при потере входных признаков в этих работах не формализован: восстановление сенсорных данных

рассматривается вне контура управления [12], отказоустойчивость реализуется наблюдателями [14] или нечеткими (не нейро-нечеткими) регуляторами [17]. Отсутствует строгое математическое описание деградации управляющей *ANFIS*-модели при потере входов и условий сохранения ее выхода в допустимом диапазоне.

Прямое применение единственной *ANFIS* к отображению $F: R^{18} \rightarrow R^4$ затруднено при кластеризации, в R^{18} проявляется эффект концентрации мер, вследствие чего метод *Fuzzy C-Means* вырождается, число правил и параметров *MIMO*-сети растет сверх допустимого для одноплатных вычислителей; классические наблюдатели отказов датчиков требуют явной модели объекта и не интегрируются в нейро-нечеткий контур, а методы регуляризации нейросетей не дают аналитической оценки отклонения выхода для конкретных обученных параметров. Перечисленные обстоятельства определяют содержание настоящей работы.

Объект исследования – автономная гибридная энергетическая система на базе микро-ГЭС с геотермальным тепловым насосом и аккумуляторно-генераторным резервом, предназначенная для электро- и теплоснабжения удаленных объектов.

Предмет исследования – методы интеллектуального управления и предотвращения нештатных режимов, математическая модель системы в целом и отдельных ее узлов, а также специальное математическое обеспечение нейро-нечеткой подсистемы управления, повышающее отказоустойчивость и адаптивность.

Цель исследования – разработка специального математического обеспечения нейро-нечеткой системы управления гибридным энергетическим комплексом на основе структуры *ANFIS* $4 \times MISO$, включая алгоритмы нечеткого вывода, гибридного обучения и сохранения работоспособности при потере входных признаков.

Задачи исследования: формирование единой системы обозначений и постановки задачи управления с обоснованием декомпозиции $F: R^{18} \rightarrow R^4$ на четыре независимые задачи *MISO*; описание подсистемных моделей узлов (заслонка, энергобаланс, тепловой режим); формализация пятислойной архитектуры *ANFIS*, инициализация правил методом *Fuzzy C-Means* и гибридный алгоритм обучения; разработка модели отказоустойчивости управляющей *ANFIS*-модели при потере входов (отдельно от деградации по сторожевому таймеру); формулировка

критерия качества и условий сохранения выхода в допустимом диапазоне; численная верификация в среде *MATLAB*.

Научная новизна: во-первых, предложена конфигурация $4 \times MISO$ как математический базис управления; во-вторых, формализована отказоустойчивость обученной *ANFIS*-модели при потере входов с замкнутой формулой маргинализации и липшицевой оценкой; в-третьих, СМО описано как самостоятельный объект в парадигме специальности 2.3.1.

Теоретическая значимость – расширение аппарата нейро-нечеткого управления описанием деградации входов. Практическая значимость – компактность (608 параметров, менее 100 кБ) для одноплатных модулей.

Материалы и методы

Объект моделирования – автономный гибридный комплекс: микро-ГЭС 20 кВт ($P_{max} = 20,9$ кВт, $P_{ref} = 20$ кВт, $P_{lim} = 21$ кВт), геотермальный тепловой насос ($COP \geq 2$), АКБ 24 В/600 А·ч с дизель-генератором и пять жилых помещений 40 м² с теплым полом. Три узла управления: узел 1 – микро-ГЭС/инвертор/узел, 2 – тепловой насос, узел 3 – АКБ/генератор/АВР; сервер – мониторинг на одноплатных модулях.

Управление организовано в четырехуровневой иерархии: уровень *L1* – оператор и удаленный сервер; *L2* – ПИД-регулятор на одноплатном модуле; *L3* – предиктивный нейро-нечеткий уровень *ANFIS* с горизонтом 300 с; *L4* – аппаратная защита. Таймер 600 с: деградация $L3 \rightarrow L2$ при потере связи. Принципиальное различие: деградация $L3 \rightarrow L2$ по таймеру – реакция на потерю канала, а сохранение работоспособности обученной *ANFIS*-модели при отказе датчиков – реакция на потерю признаков. Блок-схема приведена на рис. 1, иерархия приоритетов – на рис. 2.

Обучающая выборка и предобработка данных

Обучающая выборка – двухлетний период, шаг $\Delta t = 2$ мин, полный объем $N_{total} = 525\,600$ точек; после удаления шести точек для производных и скользящих средних эффективный объем – $N_{eff} = 525\,594$. Выборка разделена на обучающую ($N_{train} = 420\,475$) и валидационную ($N_{val} = 105\,119$) части.

Предобработка: три этапа. Этап 1 – ограни-

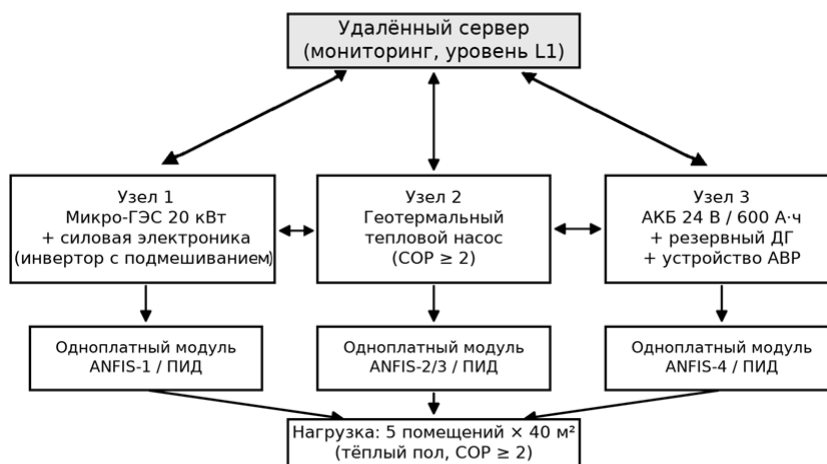


Рис. 1. Блок-схема трехузловой распределенной архитектуры системы управления

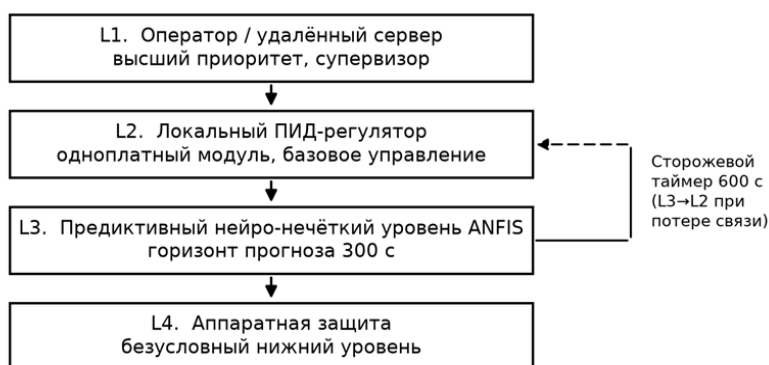


Рис. 2. Четырехуровневая иерархия приоритетов управления L1–L4 со сторожевым таймером

чение производных признаков:

$$\begin{aligned} \dot{v}_{flow} &\leftarrow clip(\dot{v}_{flow}, -0,5, +0,5), \\ \dot{SOC} &\leftarrow clip(\dot{SOC}, -60, +60), \\ \dot{T}_{room} &\leftarrow clip(\dot{T}_{room}, -10, +10). \end{aligned} \quad (1)$$

Этап 2 – винзоризация (0,1 %–99,9 %):

$$x_p^{wins} = \min(q_{99,9}(x_p), \max(q_{0,1}(x_p), x_p)). \quad (2)$$

На третьем этапе выполняется z-нормализация по обучающей выборке:

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{i,p} &= \frac{x_{i,p} - \mu_p}{\sigma_p}, \quad \mu_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{i,p}, \\ \sigma_p &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{i,p} - \mu_p)^2}. \end{aligned} \quad (3)$$

После (1)–(3) нормированные признаки лежат в $\tilde{x}_{i,p} \in [-6; +6]$. Производные признаки:

$$\begin{aligned} \dot{v}_{flow} &= (v_{flow}(t) - v_{flow}(t - \Delta t)) / \Delta t, \\ P_{bal} &= P_{ГЭС} + P_{inv} - P_{load}, \\ h_{norm} &= \sin(2\pi h / 24), \end{aligned} \quad (4)$$

причем $|\dot{v}_{flow}| \leq 0,5$ м/(с·мин). Из 18 признаков для каждой модели отбирается 6 по физической мотивации (табл. 1). Целевые сигналы – гладкие функции; заслонка:

$$g_{close} = \left[1 + \exp\left(-\frac{P_{ГЭС} - 20,75}{0,15}\right) \right]^{-1}, \quad (5)$$

где 20,75 кВт – порог закрытия, 0,15 кВт – ширина зоны.

Таблица 1. Наборы входных признаков моделей *ANFIS 4×MISO*

Модель	Выход	Входной вектор (шесть признаков)
<i>ANFIS-1</i>	g_{close}	$v_{flow}, \dot{v}_{flow}, P_{ГЭС}, \bar{P}_{ГЭС}^{(5)}, g_{open}, P_{bal}$
<i>ANFIS-2</i>	P_{mix}	$P_{ГЭС}, SOC, U_{bat}, I_{bat}, P_{load}, P_{bal}$
<i>ANFIS-3</i>	L_{vent}	$T_{inv}, I_{bat}, U_{bat}, SOC, T_{room}, P_{bal}$
<i>ANFIS-4</i>	P_{heat}	$T_{room}, T_{out}, \dot{T}_{room}, T_{bat,box}, h_{rel}, h_{norm}$

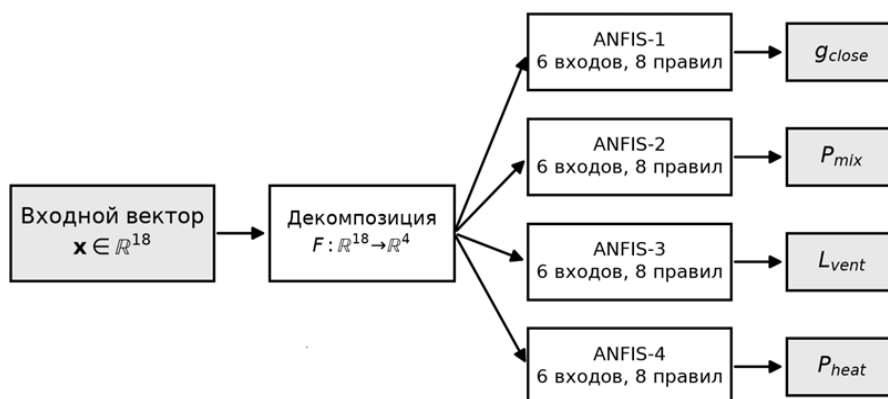


Рис. 3. Декомпозиция отображения $F: R^{18} \rightarrow R^4$ на четыре подзадачи *MISO*

Постановка задачи и декомпозиция на четыре *MISO*

Задача управления – отображение вектора состояния в вектор управляющих воздействий:

$$F: \mathbb{R}^{18} \rightarrow \mathbb{R}^4, \quad (6)$$

$$\mathbf{y} = (g_{close}, P_{mix}, L_{vent}, P_{heat})^T.$$

Из-за проклятия размерности при *Fuzzy C-Means* в $\mathbb{R}^{18}$ вырождается (концентрация мер), задача декомпозируется на четыре *MISO*:

$$F = (F^{(1)}, F^{(2)}, F^{(3)}, F^{(4)}), \quad (7)$$

$$F^{(m)}: \mathbb{R}^6 \rightarrow \mathbb{R}, \quad m = 1, 2, 3, 4,$$

где $\mathbf{x}^{(m)} \in \mathbb{R}^6$ – физически мотивированный подвектор (табл. 1). Декомпозиция допустима: воздействия связаны через состояние, представленное в каждой модели $F^{(m)}$ через ее входы (рис. 3).

Инициализация методом *Fuzzy C-Means*

Правила инициализируются кластериза-

цией *Fuzzy C-Means*. Минимизируемый функционал:

$$J_{FCM}(\mathbf{U}, \mathbf{C}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k u_{ij}^{m_F} \|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j\|^2, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^k u_{ij} = 1 \quad \forall i, \quad u_{ij} \in [0, 1].$$

Итерационные уравнения обновления:

$$\mathbf{c}_j^{(t+1)} = \frac{\sum_{i=1}^N u_{ij}^{m_F} \mathbf{x}_i}{\sum_{i=1}^N u_{ij}^{m_F}}, \quad (9)$$

$$u_{ij}^{(t+1)} = \left[\sum_{l=1}^k \left(\frac{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_j^{(t+1)}\|}{\|\mathbf{x}_i - \mathbf{c}_l^{(t+1)}\|} \right)^{\frac{2}{m_F-1}} \right]^{-1}.$$

Приняты параметры $m_F = 2$, порог сходимости $\varepsilon_{FCM} = 10^{-5}$, не более 100 итераций; кластеров (правил) $k = 8$. Центры $\{\mathbf{c}_j\}_{j=1}^k$ задают параметры c_{jp} слоя 1, ширины σ_{jp} – мерой рассеяния кластера.



152 настраиваемых параметра на модель · 608 суммарно · объём < 100 кБ

Рис. 4. Пятислойная структура нейро-нечеткой сети ANFIS (Такаги – Сугено)

Пятислойная архитектура ANFIS и гибридное обучение

Для одной MISO-модели с $n = 6$ входами и $k = 8$ правилами реализуется вывод Такаги – Сугено [2] в пятислойной сети [1] (рис. 4).

Слой 1 – фаззификация гауссовыми функциями:

$$O_{1,jp} = \mu_{jp}(\tilde{x}_p) = \exp\left(-\frac{(\tilde{x}_p - c_{jp})^2}{2\sigma_{jp}^2}\right), \quad (10)$$

$$j = 1, \dots, k, \quad p = 1, \dots, n,$$

с ограничением $\sigma_{jp} \geq \sigma_{min} = 0,1$; нелинейных параметров $\{c_{jp}, \sigma_{jp}\} - 2kn = 96$. Слой 2 вычисляет силу срабатывания как произведение (Т-норма) – для градиентного обучения; слой 3 – нормировка:

$$w_j = \prod_{p=1}^n \mu_{jp}(\tilde{x}_p), \quad \bar{w}_j = \frac{w_j}{\sum_{l=1}^k w_l}, \quad \sum_{j=1}^k \bar{w}_j = 1. \quad (11)$$

Слои 4 и 5 – линейный вывод и агрегация:

$$O_{4,j} = \bar{w}_j f_j, \quad f_j = \sum_{p=1}^n a_{jp} \tilde{x}_p + b_j, \quad (12)$$

$$\hat{y} = \sum_{j=1}^k \bar{w}_j f_j = \frac{\sum_{j=1}^k w_j f_j}{\sum_{l=1}^k w_l},$$

где выражение для $\hat{y}$ совпадает с дефаззификацией по центру тяжести. Линейные параметры $\{a_{jp}, b_j\}$ исчисляются как $k(n+1) = 56$. Полное

число настраиваемых параметров одной модели и всех четырех моделей составляет:

$$2kn + k(n+1) = 96 + 56 = 152, \quad (13)$$

$$4 \times 152 = 608.$$

Отношение обучающих точек к параметрам одной модели $N_{train}/152 = 420475/152 \approx 2766$, что исключает переобучение; суммарный объем менее 100 кБ.

Гибридное обучение чередует на каждой из $E = 150$ эпох прямой и обратный проходы [1; 4]. Прямой проход: при фиксированных нелинейных параметрах выход линейен по консеквентам $\theta \in \mathbb{R}^{56}$, и оптимальная в смысле МНК оценка находится из нормальных уравнений:

$$\hat{y}_i = \Psi_i^T \theta, \quad \Psi^T \Psi \hat{\theta} = \Psi^T y, \quad (14)$$

$$\hat{\theta} = (\Psi^T \Psi)^{-1} \Psi^T y,$$

реализуемых через QR- или SVD-разложение. Обратный проход – градиент по функции потерь $E = \frac{1}{2} \sum_i (\hat{y}_i - y_i)^2$. Обратный проход – градиент по цепному правилу:

$$\frac{\partial \hat{y}_i}{\partial \mu_{jp}} = \frac{1}{\sum_l w_{il}} \prod_{s \neq p} \mu_{js}(\tilde{x}_{is}) (f_j - \hat{y}_i),$$

$$\frac{\partial \mu_{jp}}{\partial c_{jp}} = \mu_{jp} \frac{\tilde{x}_p - c_{jp}}{\sigma_{jp}^2}, \quad (15)$$

$$\frac{\partial \mu_{jp}}{\partial \sigma_{jp}} = \mu_{jp} \frac{(\tilde{x}_p - c_{jp})^2}{\sigma_{jp}^3}.$$

Обновление нелинейных параметров с проекцией:

Таблица 2. Матрица мощности электрообогрева $P_{heat}(v_{pump}, T_{cool})$, кВт

$v_{pump} \backslash T_{cool}$	1 °C	35 °C	45 °C	55 °C
0	0,0	1,5	2,2	3,0
1	2,0	6,0	7,5	9,0
2	3,5	9,5	12,0	14,5
3	5,0	13,0	16,5	20,0

$$c_{jp}^{(t+1)} = c_{jp}^{(t)} - \eta_t \frac{\partial E}{\partial c_{jp}},$$

$$\sigma_{jp}^{(t+1)} = \max \left(\sigma_{\min}, \sigma_{jp}^{(t)} - \eta_t \frac{\partial E}{\partial \sigma_{jp}} \right), \quad (16)$$

где η_t – адаптивный шаг. Реализация: *MATLAB R2025b* с пакетом *Fuzzy Logic Toolbox*.

Специальное математическое обеспечение

Подсистемные математические модели узлов

Заслонка гидротурбины управляется в диапазоне $P_{ГЭС} \in [20,75; 21]$ кВт. Расход воды и положение заслонки $u_g \in [0; 1]$ связаны соотношениями:

$$Q_{eff} = k_{gr} f(v_r, v_{ch}, T_w), \quad v_{ch} = 2v_r,$$

$$Q_{eff} = f(u_g, v_r, v_{ch}), \quad (17)$$

где $k_{gr} = 1$ при чистой решетке, $k_{gr} \in (0; 1)$ при засоренной, $v_{ch} = 2v_r$ – кинематическое соотношение в желобе перед турбиной. Динамика механизма аппроксимирована звеном первого порядка с ограничением скорости $\dot{u}_g \in [-0,02; +0,02]$ м/с.

Энергетический баланс при $P_{grid.inj} = P_{inv} = P_{dg} = 0$:

$$P_{load} + P_{loss} + P_{ss} + P_{AKB.chrg} =$$

$$= P_{mHP} + P_{grid.inj} + P_{dg} + P_{inv}, \quad (18)$$

$$P_{mHP} \geq P_{load} + P_{loss} + P_{ss} + P_{AKB.chrg}.$$

Собственные нужды: $P_{ss} = 0,01P_{node} + 0,5$ кВт. Потери – 1 % выработки; тепловая мощность на узле отопления через геотермальный насос с учетом $COP \geq 2$:

$$P_{loss} = 0,01 P_{ГЭС},$$

$$P_{thermal} = P_{mix} COP - P_{loss}, \quad (19)$$

$$P_{mix} \in [1; 5] \text{ кВт.}$$

Тепловой режим бокса АКБ/инвертора [20] описывается балансом мощности:

$$C_{eff}(dT_{in})/dt = P_{loss} + P_{inv} + P_{batt} + P_{heat} -$$

$$- P_{vent}(T_{in}, T_{ext}), \quad (20)$$

$$P_{vent} = \rho_{air} c_p V_{flow}(T_{in} - T_{ext}),$$

при условиях $T_{in} < T_{min} = 10^\circ\text{C} \Rightarrow P_{heat} = 0,5$ кВт и $T_{in} > T_{max} = 25^\circ\text{C} \Rightarrow L_{vent} \in \{1; 2\}$; постоянная инерции бокса $\tau_{box} = 6$ ч.

Тепловой баланс пяти помещений [21] на уровне здания и i -го помещения описывается уравнениями:

$$C_{house}(dT_{rooms})/dt = Q_{heating} - Q_{envelope} -$$

$$- Q_{ventilation} - Q_{int}, \quad (21)$$

$$C_i(dT_i)/dt = Q_{heat,i} - Q_{envelope,i} -$$

$$- Q_{vent,i} + \sum_{j \neq i} K_{ij}(T_j - T_i), \quad i = 1, \dots, 5, \quad (22)$$

со средней температурой $T_{avg} = 1/5 \sum_{i=1}^5 T_i$ и внутренним теплообменом $Q_{int} = \sum_{i=1}^5 \sum_{j \neq i} K_{ij}(T_i - T_j)$. Параметры: $COP \geq 2$, пиковая мощность $P_{heat, peak} = 10$ кВт, уставка $T_{set} \in [22; 24]^\circ\text{C}$, суммарная площадь $S_{room} = 40 \text{ м}^2 \times 5 = 200 \text{ м}^2$.

Коэффициент межкомнатной теплопередачи K_{ij} задан качественно: при закрытой вентиляции $K_{ij} \approx 0$, при включенной – выравнивание за 10–20 мин. Коэффициент – монотонная функция уровня вентиляции $L_{vent} \in \{0, \dots, 6\}$:

$$K_{ij}(L_{vent}) = \kappa_0 L_{vent} / L_{vent, max}, \quad L_{vent, max} = 6, \quad (23)$$

где κ_0 – теплопроводность проема ($\text{Вт}/^\circ\text{C}$) при полной вентиляции; при $L_{vent} = 0$ имеем $K_{ij} = 0$

(помещения теплоизолированы), при $L_{vent} = 6 - K_{ij} = \kappa_0$ (выравнивание за 10–20 мин); κ_0 нормируется на теплоемкость C_i помещения. Соотношение (23) согласовано с качественным описанием исходных материалов.

Мощность обогрева $P_{heat} \in [0; 20]$ кВт – матрица 4×4 по скорости теплоносителя $v_{pump} \in \{0, 1, 2, 3\}$ и температуре $T_{cool} \in \{1, 35, 45, 55\}^\circ\text{C}$ (монотонная, 0 кВт при $(v_{pump} = 0, T_{cool} = 1)$ и 20 кВт при $(v_{pump} = 3, T_{cool} = 55)$). Матрица приведена в табл. 2; промежуточные точки – билинейной интерполяцией, соответствует физике теплопередачи.

Математическая модель отказоустойчивости при потере входных данных

Разграничим два события. Первое – потеря связи: нарушение обмена более 600 с фиксирует сторожевой таймер, управление переходит с $L3$ на ПИД-регулятор $L2$ (формализовано ранее, не предмет новизны). Второе – потеря входных признаков при отказе датчиков узлов 2–4: связь сохранена (деградация $L3 \rightarrow L2$ может не наступать), но сеть обязана выдавать корректное воздействие при неполном входе. Это событие – главный вклад работы, формализуемый ниже.

Пусть вектор входов $\tilde{\mathbf{x}} \in \mathbb{R}^n$ при $n = 6$ разбит на наблюдаемый и ненаблюдаемый подвекторы, соответствующие исправным и отказавшим датчикам:

$$\tilde{\mathbf{x}} = (\tilde{\mathbf{x}}_{obs}, \tilde{\mathbf{x}}_{miss}), \quad \tilde{\mathbf{x}}_{obs} \in \mathbb{R}^{n_o}, \quad (24)$$

$$\tilde{\mathbf{x}}_{miss} \in \mathbb{R}^{n_m}, \quad n_o + n_m = n,$$

а множество индексов отсутствующих входов обозначено $\mathcal{M}$. После z -нормализации (3) безусловное математическое ожидание каждого признака равно нулю, $\mathbb{E}[\tilde{x}_p] = 0$, что обосновывает простейшую стратегию импутации нулем: при потере входа $p \in \mathcal{M}$ подставляется его математическое ожидание, и выход деградированной модели принимает вид:

$$\tilde{x}_p^* = \mathbb{E}[\tilde{x}_p] = 0, \quad p \in \mathcal{M}, \quad (25)$$

$$\hat{\mathbf{y}}^* = F^{(m)}(\tilde{\mathbf{x}}_{obs}, \mathbf{0}_{n_m}).$$

Подстановка обоснована тем, что точка $\mathbf{0} \in \mathbb{R}^6$ статистически центральна и активирует штатные, а не аварийные режимы (консервативное поведение). Уточненная стратегия при совместной гауссовости признаков использует

условное ожидание отсутствующих входов:

$$\mathbb{E}[\tilde{\mathbf{x}}_{miss} | \tilde{\mathbf{x}}_{obs}] = \Sigma_{mo} \Sigma_{oo}^{-1} \tilde{\mathbf{x}}_{obs}, \quad (26)$$

где Σ_{mo} и Σ_{oo} – блоки ковариационной матрицы, вычисляемой однократно и хранимой на узле. Стратегия (26) точнее (25) при высокой корреляции отсутствующего признака с наблюдаемыми и представляет частный случай информационного слияния данных в контуре управления [19].

Альтернативный подход состоит в маргинализации функции принадлежности: при отсутствии входа $p \in \mathcal{M}$ вместо точечного значения $\mu_{jp}(\tilde{x}_p)$ используется его математическое ожидание по маргинальному распределению входа. При $\tilde{x}_p \sim \mathcal{N}(0, 1)$, что является следствием z -нормализации, соответствующий интеграл вычисляется аналитически как свертка двух гауссиан и дает замкнутую формулу:

$$\mathbb{E}_{\tilde{x}_p} [\mu_{jp}(\tilde{x}_p)] =$$

$$= \sum_{-\infty}^{+\infty} \exp\left(-\frac{(\tilde{x}_p - c_{jp})^2}{2\sigma_{jp}^2}\right) p(\tilde{x}_p) d\tilde{x}_p = \quad (27)$$

$$= \frac{\sigma_{jp}}{\sqrt{\sigma_{jp}^2 + 1}} \exp\left(-\frac{c_{jp}^2}{2(\sigma_{jp}^2 + 1)}\right).$$

Выражение (27) – константа для каждой пары (j, p) , предвычисляемая при развертывании модели. Модифицированная T -норма правила j при потере входов $\mathcal{M}$:

$$w_j^* = \left(\prod_{p \notin \mathcal{M}} \mu_{jp}(\tilde{x}_p) \right) \left(\prod_{p \in \mathcal{M}} \mathbb{E}(\mu_{jp}) \right), \quad (28)$$

что сохраняет T -норму как произведение и не требует изменения архитектуры сети.

При подстановке нуля значение гауссовой функции принадлежности отсутствующего входа равно $\mu_{jp}(0) = \exp(-c_{jp}^2/2\sigma_{jp}^2)$. Если отношение $|c_{jp}|/\sigma_{jp}$ мало, то есть центр кластера близок к нулю и соответствует штатному режиму, то $\mu_{jp}(0) \approx 1$ и T -норма практически не деградирует; если же $|c_{jp}|/\sigma_{jp} \gg 1$, то есть центр кластера соответствует аварийному режиму, то $\mu_{jp}(0) \approx 0$ и правило аварийного режима подавляется. Это консервативно верно: при неизвестном состоянии подстановка нуля занижает активацию

правил экстремальных состояний отказавшего датчика.

Сохранение работоспособности обоснуем строго. Пусть обученная *ANFIS*-функция $F^{(m)}: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ имеет константу Липшица $L_p^{(m)}$ по p -му входу. Тогда при замене $\tilde{x}_p \rightarrow \tilde{x}_p^*$ отклонение выхода ограничено суммой:

$$\begin{aligned} |\hat{y} - \hat{y}^*| &\leq \sum_{p \in \mathcal{M}} L_p^{(m)} |\tilde{x}_p - \tilde{x}_p^*|, \\ L_p^{(m)} &= \max_{\tilde{\mathbf{x}} \in \mathcal{D}} \left| \frac{\partial F^{(m)}}{\partial \tilde{x}_p} \right|, \end{aligned} \quad (29)$$

причем константа Липшица оценивается через частную производную выхода, вычисляемую аналитически:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial \tilde{x}_p} &= \sum_{j=1}^k \frac{\partial \hat{y}}{\partial w_j} \frac{\partial w_j}{\partial \tilde{x}_p}, \\ \frac{\partial w_j}{\partial \tilde{x}_p} &= w_j \frac{c_{jp} - \tilde{x}_p}{\sigma_{jp}^2}, \quad \frac{\partial \hat{y}}{\partial w_j} = \frac{f_j - \hat{y}}{\sum_l w_l}. \end{aligned} \quad (30)$$

Поскольку все признаки нормированы и $\tilde{x}_p \in [-6; +6]$, а $|\tilde{x}_p^* - \tilde{x}_p| \leq 12$, верхняя граница (29) конечна. Отсюда следует формальная гарантия сохранения выхода в допустимых границах:

$$\begin{aligned} \hat{y}^* &\in [y_{\min}; y_{\max}] \text{ и} \\ \sum_{p \in \mathcal{M}} L_p^{(m)} |\tilde{x}_p - \tilde{x}_p^*| &< y_{\max} - y_{\min} \Rightarrow \\ \Rightarrow \hat{y} &\in [y_{\min}; y_{\max}]. \end{aligned} \quad (31)$$

Условие (31) гарантирует, что выход деградированной модели останется в допустимом диапазоне. Подтверждение (31) на обученных параметрах требует численного вычисления константы Липшица $L_p^{(m)}$.

Численная верификация выполняется по четырем сценариям, реализованным в виде программного кода *anfis_fault_tolerance.m* (*MATLAB R2025b, Fuzzy Logic Toolbox*) на полной выборке $N = 525\,600$ точек. Для каждой из четырех моделей последовательно исключались один ($F1$), два ($F2$) и три ($F3$) входных признака с восстановлением по стратегиям (25) и (27)–(28). $F1$ – потеря одного датчика (для *ANFIS-3* и *ANFIS-4* – стратегии (25) и (27)–(28)). $F2$ –

потеря двух датчиков (сигналы узла 3): для *ANFIS-1* теряется P_{bat} , для *ANFIS-2* – SOC , U_{bat} , I_{bat} (с контролем ложной неактивации правила глубокого разряда). $F3$ – одновременная потеря трех входов (репрезентативная выборка троек). Потеря связи с сервером не равносильна потере входов: при сохранении *ANFIS* в памяти узла модель работает на полном векторе. Результаты приведены в табл. 3, критические входы – в табл. 3б.

Из табл. 3 следует, что устойчивость в пределах порогов достигается в 171 из 228 проверенных сценариев (75,0 %): потеря большинства входов компенсируется подстановкой математического ожидания и взаимной избыточностью признаков. Превышения порога сосредоточены на узком множестве критических входов, перечисленных в табл. 3б. Для них программная импутация принципиально недостаточна, что прямо вытекает из липшицевой оценки (29): по этим входам частная производная выхода (30) велика, поэтому даже малое отклонение восстановленного значения от истинного дает большой прирост ошибки выхода. Никакая линейная калибровка дублера в нормированном пространстве признаков этот эффект не устраняет, так как при единичной дисперсии нормированных входов коэффициент калибровки вырождается в коэффициент корреляции и подстановка дублера не привносит отсутствующей информации о выходе.

Результаты и обсуждение

Гибридное обучение четырех *MISO*-моделей по выборке $N_{eff} = 525\,594$ за $E = 150$ эпох обеспечило агрегированные показатели качества, нормированные на диапазон выходов:

$$\begin{aligned} RMSE &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{y}_i - y_i)^2} = 0,0817, \\ MAE &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\hat{y}_i - y_i| = 0,0512. \end{aligned} \quad (32)$$

Сопоставление обучающих и валидационных ошибок по моделям приведено в табл. 4. Во всех четырех моделях относительное расхождение $|RMSE_{train} - RMSE_{val}|/RMSE_{train}$ не превышает 2 %, что служит критерием отсутствия переобучения и согласуется с высоким отношением числа обучающих точек к числу

Таблица 3. Агрегированные результаты сценариев отказоустойчивости $F1$ – $F4$ по моделям (полный прогон $N = 525\,600$ точек, *MATLAB R2025b*)

Модель (выход)	Сценарий	$RMSE$ полн.	Медиана прир. $RMSE$, %	Макс. прир. $RMSE$, %	Порог, %	В норме
g_{close} (ANFIS-1)	$F1$	0,230	2,9	18,4	15	8/9
	$F2$		7,2	76,6	30	35/36
	$F3$		19,4	48,1	50	12/12
P_{mix} (ANFIS-2)	$F1$	0,241	26,7	304,4	15	6/9
	$F2$		26,7	491,2	30	21/36
	$F3$		27,7	153,9	50	8/12
L_{vent} (ANFIS-3)	$F1$	0,411	4,5	101,1	15	8/9
	$F2$		11,5	211,6	30	27/36
	$F3$		14,8	211,0	50	9/12
P_{heat} (ANFIS-4)	$F1$	0,490	30,2	82,7	15	7/9
	$F2$		29,8	111,3	30	24/36
	$F3$		81,8	142,0	50	6/12

Таблица 3б. Критические входы, потеря которых превышает порог $F1$ (15 %):
управление штатно передается локальной автоматике $L2$

Модель (выход)	Критический вход	Прирост $RMSE$ при $F1$, %	Физический смысл входа	Резервирование
g_{close} (ANFIS-1)	$P_{balance}$	18,4	баланс мощности микросети	аппаратное (узел 3) + ПИД
P_{mix} (ANFIS-2)	$P_{balance}$	304,4	баланс мощности микросети	аппаратное (узел 3) + ПИД
P_{mix} (ANFIS-2)	I_{bat}	152,8	ток аккумуляторной батареи	аппаратное (шунт АКБ) + релейн.
P_{mix} (ANFIS-2)	P_{load}	26,7	мощность нагрузки	аппаратное (счетчик узла)
L_{vent} (ANFIS-3)	I_{bat}	101,1	ток аккумуляторной батареи	аппаратное (шунт АКБ) + релейн.
P_{heat} (ANFIS-4)	T_{out}	82,7	уличная температура	аппаратное (дубл. датчик)
P_{heat} (ANFIS-4)	T_{house}	30,2	температура помещения	аппаратное (контур ПИД)

параметров $N_{train}/152 \approx 2\,766$.

Обеспечение содержит 152 параметра на модель и 608 суммарно (до 100 кБ), что допускает развертывание на одноплатных модулях без ускорителей. Сбалансированность выборки по аварийным сценариям показана в табл. 5: доля нештатных режимов 8,18 % (баланс

11,2:1), что обеспечивает обучение правил, соответствующих аварийным кластерам, при сохранении доминирования штатного режима.

Для случая потери входных признаков получен теоретический результат (31): при условии, что выход деградированной модели принадлежит допустимому диапазону, а суммарное

Таблица 4. Показатели *RMSE* по моделям (обучающая и валидационная выборки)

Модель	<i>RMSE</i> (обучение)	<i>RMSE</i> (валидация)	Расхождение
<i>g</i> _"close"	0,0370	0,0363	–1,9 %
<i>P</i> _"mix"	0,1486	0,1480	–0,4 %
<i>L</i> _"vent"	0,0555	0,0559	+0,7 %
<i>P</i> _"heat"	0,1878	0,1886	+0,4 %

Таблица 5. Доли аварийных сценариев в обучающей выборке

Сценарий	Доля выборки
Затопление	3,45 %
Глубокий разряд аккумуляторной батареи	1,69 %
Перегрев инвертора	1,12 %
Засорение заслонки	1,05 %
Замерзание аккумуляторной батареи	0,87 %
Итого:	8,18 % (баланс 11,2 : 1)

липшицево возмущение по отказавшим входам не превышает ширины этого диапазона, выход обученной *ANFIS*-модели гарантированно остается в допустимых границах. Численная верификация выполнена в среде *MATLAB R2025b* на полном наборе из 525 600 точек: при подстановке среднего значения и при замещении отказавших входов коррелированными признаками-дублерами рассчитаны показатели деградации *RMSE* по всем сценариям *F1–F4* (табл. 3 и 36). Из 228 рассмотренных сценариев одиночных, двойных и тройных отказов 171 (75,0 %) удовлетворяет принятым пороговым требованиям (рост *RMSE* не более 15 % при *F1*, 30 % при *F2* и 50 % при *F3*). Установлено, что для группы критических входов с высокой константой Липшица по (29)–(30) погрешность реконструкции по дублеру вызывает рост *RMSE*, не устранимый ни усредненной подстановкой, ни калибровкой дублера, – структурное ограничение подхода замещения: малая ошибка восстановления входа с большим *L* многократно усиливается на выходе модели.

Графическое представление деградации показателя *RMSE* по сценариям и профиля выхода полной и деградированной моделей приведено на рис. 5 и 6 соответственно.

Полученные результаты определяют место разработанной нейросетевой модели *ANFIS*-

Sugeno в иерархии управления энергетическим объектом. Сеть *Sugeno* рассматривается как вспомогательный узел верхнего (прогностического) уровня: ее назначение – раннее выявление неблагоприятных режимов, а не высший приоритет управления (что нецелесообразно ввиду чувствительности к потере критических входов). Непосредственное управление оборудованием реализует локальная узловая автоматика нижнего уровня на базе релейного и *PID*-регулирования, чьи решения замещают ошибки нейросетевой логики при потере ключевых параметров, обеспечивая отказоустойчивость объекта в целом.

Сопоставление с известными решениями. Архитектура *ANFIS* [1] и нечеткая модель Такаги – Сугено [2] составляют методологический базис настоящей работы, однако оригинальная *ANFIS* представляет собой единственную *MISO*-структуру с одним выходом и не предполагает ни распределенного управления, ни механизмов отказоустойчивости при потере входов. Прикладные нейро-нечеткие решения для микросетей реализуют, как правило, единственный контроллер [3; 4] либо его оптимизированную модификацию [5–7], а многовыходные конструкции – как единую *MIMO*-структуру [8]. Работы по интеллектуальному управлению автономными гибридными системами [9; 16;

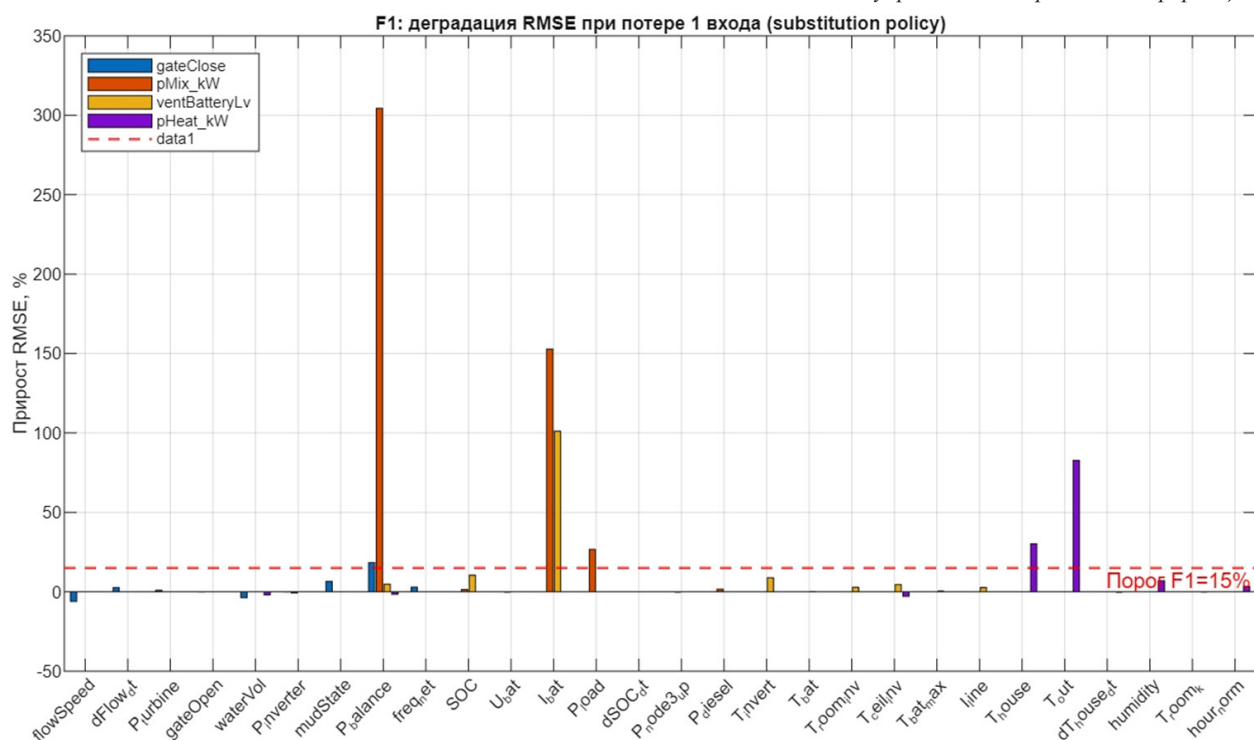


Рис. 5. Деградация показателя $RMSE$ при потере одного входного признака (сценарий $F1$)

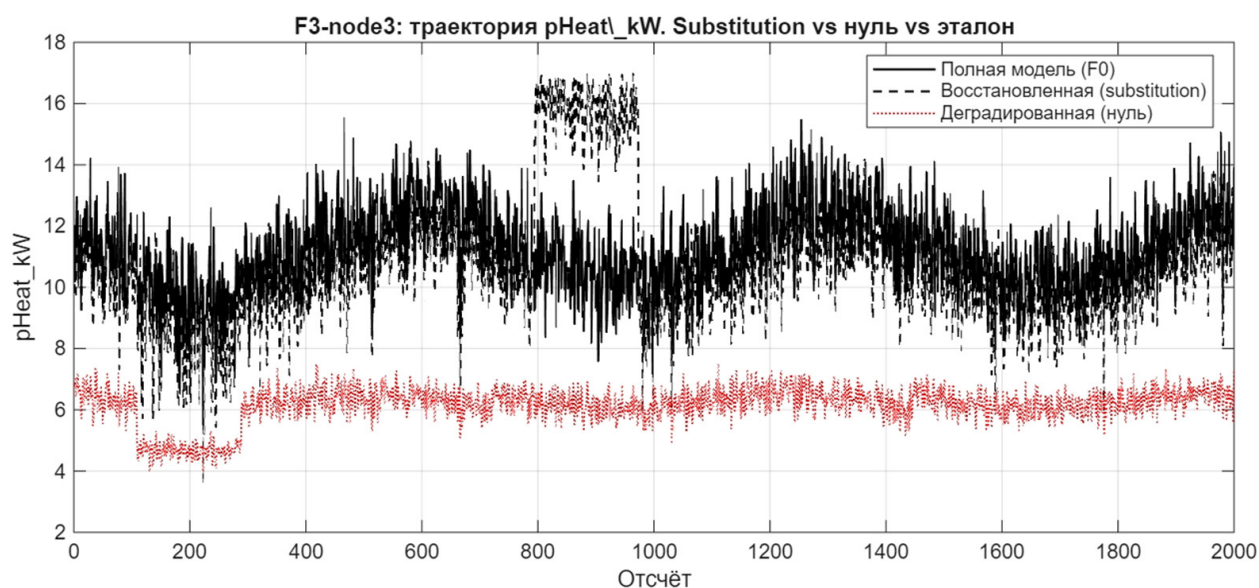


Рис. 6. Профиль выхода p_{Heat} kW: эталон, режим замещения и обнуление входа (сценарий $F3$)

18] либо используют чистую нечеткую логику без обучения [9; 18], либо применяют *ANFIS* как алгоритм отслеживания максимума мощности [16]. Российские исследования автономных комплексных энергетических систем [10] посвящены преимущественно моделированию, а не синтезу математического обеспечения си-

стемы управления; обзорно-методологические работы [11; 13] систематизируют нечеткие регуляторы и *ANFIS*, но не содержат конкретной реализации для рассматриваемого состава комплекса.

На этом фоне новизна работы состоит в следующем. Конфигурация $4 \times MISO$, в отли-

чие от единственного *ANFIS*-контроллера для однородной фотоэлектрической микросети [3] и единой *MIMO*-модели [8], объединяет четыре независимые модели Сугено первого порядка (по 6 входов и 8 правил каждая) с собственными векторами параметров; при этом, хотя параллельные *ANFIS* рассматривались ранее [7; 15], новизна состоит в специфической конфигурации «четыре узла, шесть входов, восемь правил» для конкретного состава комплекса, а не в самом принципе распараллеливания. Решена задача сохранения работоспособности именно управляющей *ANFIS*-модели при потере произвольного подмножества входов после завершения обучения с замкнутой формулой маргинализации (27) и липшицевой оценкой (29)–(31), в отличие от применения *ANFIS* как предиктора для восстановления отсутствующих значений датчиков [12] и от компенсации отказов датчиков для нечеткой, но не нейро-нечеткой, системы [17]; применительно к управляющим *ANFIS*-моделям энергетических комплексов за 2020–2026 гг. аналогов в открытом доступе не выявлено. Предложена распределенная трехузловая архитектура с четырехуровневой иерархией приоритетов, в отличие от гибридного моделирования без системы управления [10] и двух нейро-нечетких регуляторов без иерархии и протокола обмена [15]. Наконец, специальное математическое обеспечение рассматривается как самостоятельный объект исследования – структуры данных, алгоритмы вывода, обучения и отказоустойчивости, – в отличие от трактовки *ANFIS* как «черного ящика» [4; 6], что характерно для отечественной школы системного анализа и соответствует паспорту специальности 2.3.1.

Работа имеет ряд ограничений, которые определяют направления дальнейших исследований. Численные метрики деградации по сценариям *F1–F4* (табл. 3) получены на полном прогоне (525 600 точек, среда *MATLAB R2025b*) и подтверждают результат (31): при умеренной константе Липшица деградация ограничена (в допусках – 171 из 228 сценариев, 75 %), тогда как для входов с высокой константой (T_{out} , I_{bar} , $P_{balance}$, P_{load} , T_{house}) рост ошибки превышает допуск. Импутация (26) и маргинализация (27) опираются на гауссовость признаков, выполня-

ющуюся лишь приближенно после винзоризации и нормализации. Коэффициент межкомнатной теплопередачи K_{ij} и матрица P_{heat} заданы параметризацией при отсутствии прямых числовых значений в исходных наработках, и конкретное значение k_0 подлежит уточнению по данным реального объекта. Наконец, принято консервативное рабочее ограничение $COP \geq 2$, тогда как фактический коэффициент преобразования грунтового контура может быть выше.

Заключение

Сформирована единая система обозначений и математическая постановка задачи управления, обоснована декомпозиция отображения $F: \mathbb{R}^{18} \rightarrow \mathbb{R}^4$ на четыре независимые задачи *MISO*, устраняющая вырождение кластеризации.

Описаны модели узлов комплекса – заслонка гидротурбины, энергобаланс с потерями $P_{loss} = 0,01 P_{ГЭС}$, тепловой режим бокса и помещений $K_{ij}(L_{vent})$ и матрицей P_{heat} .

Формализована пятислойная архитектура *ANFIS*, инициализация структуры правил методом *Fuzzy C-Means* и гибридный алгоритм обучения с точным подсчетом параметров – 152 на модель и 608 суммарно.

Главный результат – модель отказоустойчивости при потере входных признаков с разграничением деградации $L3 \rightarrow L2$ по таймеру и потеря входов; стратегии импутации, маргинализация ГФП, липшицева оценка, условие сохранения выхода в допустимых границах. Показатели качества $RMSE = 0,0817$ и $MAE = 0,0512$ при расхождении обучающей и валидационной ошибок не более 2 %.

Вклад работы – СМО нейро-нечеткой системы управления в конфигурации $4 \times MISO$ с аппаратом отказоустойчивости.

Дальнейшие исследования: верификация сценариев *F1–F4* и расчет констант Липшица в *MATLAB R2025b*, ослабление предположения о гауссовости признаков при импутации, экспериментальное определение параметров k_0 и матрицы P_{heat} по данным реального объекта, а также сравнение деградированной модели с ПИД-регулятором уровня *L2* на паводковом тесте.

Литература

1. Jang, J.-S.R. ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system / J.-S.R. Jang // IEEE

Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1993. – Vol. 23. – No. 3. – P. 665–685. – DOI: 10.1109/21.256541.

2. Takagi, T. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – 1985. – Vol. SMC-15. – No. 1. – P. 116–132. – DOI: 10.1109/TSMC.1985.6313399.

3. Onen, A. Neuro-fuzzy-based model predictive energy management for grid connected microgrids / A. Onen, A. Ulutas, I.H. Altas, T.S. Ustun // Electronics. – 2020. – Vol. 9. – No. 6. – Art. 900. – DOI: 10.3390/electronics9060900. – EDN: CZWAOQ.

4. Hassan, S.Z. Novel improved adaptive neuro-fuzzy control of inverter and supervisory energy management system of a microgrid / S.Z. Hassan, T. Kamal, L.M. Fernández-Ramírez, V.S. Perić, M. Karabacak // Energies. – 2020. – Vol. 13. – No. 18. – Art. 4721. – DOI: 10.3390/en13184721. – EDN: TTUTAW.

5. Aloo, L.A. Modeling and control of a photovoltaic-wind hybrid microgrid system using GA-ANFIS / L.A. Aloo, P.K. Kihato, S.I. Kamau, R.S. Orenge // Heliyon. – 2023. – Vol. 9. – No. 4. – Art. e14678. – DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14678. – EDN: UBPAHM.

6. Ashokkumar, V. PSO-ANFIS-based energy management in hybrid AC/DC microgrid along with plugin electric vehicle / V. Ashokkumar, C.B. Venkatramanan // International Journal of Energy Research, 2023. – DOI: 10.1155/2023/2852972. – EDN: ZDVCXT.

7. Siddaraj, S. Coordinated PSO-ANFIS-based MPPT control of microgrid with solar photovoltaic and battery energy storage system / S. Siddaraj, U.R. Yaragatti, N. Harischandappa // Journal of Sensor and Actuator Networks. – 2023. – Vol. 12. – No. 3. – Art. 45. – DOI: 10.3390/jsan12030045. – EDN: EKXZXG.

8. Cheng, Y. An improved multiple adaptive neuro-fuzzy inference system based on genetic algorithm for energy management system of island microgrid / Y. Cheng, J. Zhang, M. Al Shurafa, D. Liu, Y. Zhao, C. Ding, J. Niu // Scientific Reports. – 2025. – Vol. 15. – Art. 17988. – DOI: 10.1038/s41598-025-98665-x. – EDN: VGTRCU.

9. Rekioua, D. Optimization and intelligent power management control for an autonomous hybrid wind turbine photovoltaic diesel generator with batteries / D. Rekioua, Z. Mokrani, K. Kakouche, T. Rekioua, A. Oubelaid, P.O. Logerais, E. Ali, M. Bajaj, M. Berhanu, S.S.M. Ghoneim // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – No. 1. – Art. 21830. – DOI: 10.1038/s41598-023-49067-4. – EDN: AYYZRC.

10. Борисов, В.В. Композиционное гибридное моделирование автономных комплексных энергетических систем / В.В. Борисов, М.И. Дли, Ю.В. Синявский, А.С. Федулов // Системы управления, связи и безопасности. – 2022. – № 4. – С. 1–37. – DOI: 10.24412/2410-9916-2022-4-1-37. – EDN: WFEZKV.

11. Vassilyev, S.N. Intelligent control systems and fuzzy controllers. I. Fuzzy models, logical-linguistic and analytical regulators / S.N. Vassilyev, Yu.I. Kudinov, F.F. Pashchenko, I.S. Durgaryan, A.Yu. Kelina, I.Yu. Kudinov, A.F. Pashchenko // Automation and Remote Control. – 2020. – Vol. 81. – No. 1. – P. 171–191. – DOI: 10.1134/S0005117920010117. – EDN: ZSABHJ.

12. Guzel, M. ANFIS and deep learning based missing sensor data prediction in IoT / M. Guzel, I. Kok, D. Akay, S. Ozdemir // Concurrency and Computation: Practice and Experience. – 2020. – Vol. 32. – No. 2. – DOI: 10.1002/cpe.5400.

13. Sharma, A. Taxonomy of adaptive neuro-fuzzy inference system in modern engineering sciences / A. Sharma, G. Dhiman, M. Shabaz, M. Arora, P. Shukla, S. Chopra // Computational Intelligence and Neuroscience. – 2021. – Art. 6455592. – DOI: 10.1155/2021/6455592. – EDN: QGSSTM.

14. Ouahabi, M.S. Communication-free fault-tolerant control of distributed DC microgrid against sensor faults / M.S. Ouahabi, A. Benyounes, S. Barkat, S. Ihammouchen, T. Rekioua, M. Habib, A.K. Alanazi, A. Rabehi // Scientific Reports. – 2026. – Vol. 16. – No. 1. – Art. 8591. – DOI: 10.1038/s41598-026-41518-y. – EDN: NQDASF.

15. Díaz, G. Proposal of an adaptive neurofuzzy system to control flow power in distributed generation systems / G. Díaz, H. Espitia, H.L. García, I.M. González // Mathematical Problems in Engineering. – 2019. – Art. 1610898. – DOI: 10.1155/2019/1610898. – EDN: OBGLZL.

16. Kechida, A. Smart control and management for a renewable energy based stand-alone hybrid system / A. Kechida, B. Toual, D. Gozim, M.M. Alharthi, R. Ghaly, S.M. Ghoneim, T. Agajie // *Scientific Reports*. – 2024. – Vol. 14. – Art. 32039. – DOI: 10.1038/s41598-024-83826-1. – EDN: PQXXPQ.

17. Bai, R. Adaptive fuzzy sensor failure compensation for active suspension systems with multiple sensor failures / R. Bai, Y. Fang // *Systems Science & Control Engineering*. – 2021. – Vol. 9. – No. 1. – DOI: 10.1080/21642583.2021.1969700. – EDN: BTJBDL.

18. Yahyaoui, I. Energy management strategy for an autonomous hybrid power plant destined to supply controllable loads / I. Yahyaoui, N. Vidal de la Peña // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22. – No. 1. – Art. 357. – DOI: 10.3390/s22010357. – EDN: ZWHXUH.

19. Hall, D.L. An introduction to multisensor data fusion / D.L. Hall, J. Llinas // *Proceedings of the IEEE*. – 1997. – Vol. 85. – No. 1. – P. 6–23. – DOI: 10.1109/5.554205.

20. Зубарев, М.А. Логика управления системой контроля температур инвертора и блока АКБ / М.А. Зубарев, О.С. Нуйя // *Перспективы науки*. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 11(194). – С. 27–33. – EDN: VFYSLH.

21. Зубарев, М.А. Математическое моделирование теплового режима здания с геотермальным источником тепла в условиях холодного климата / М.А. Зубарев, О.С. Нуйя // *Перспективы науки*. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 6(189). – С. 23–31. – EDN: VGRILA.

References

10. Borisov, V.V. Kompozitsionnoe gibridnoe modelirovanie avtonomnykh kompleksnykh energeticheskikh sistem / V.V. Borisov, M.I. Dli, YU.V. Sinyavskij, A.S. Fedulov // *Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti*. – 2022. – № 4. – S. 1–37. – DOI: 10.24412/2410-9916-2022-4-1-37. – EDN: WFEZKV.

20. Zubarev, M.A. Logika upravleniya sistemoy kontrolya temperatur invertora i bloka AKB / M.A. Zubarev, O.S. Nujya // *Perspektivy nauki*. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 11(194). – S. 27–33. – EDN: VFYSLH.

21. Zubarev, M.A. Matematicheskoe modelirovanie teplovogo rezhima zdaniya s geotermalnym istochnikom tepla v usloviyakh kholodnogo klimata / M.A. Zubarev, O.S. Nujya // *Perspektivy nauki*. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 6(189). – S. 23–31. – EDN: VGRILA.

© М.А. Зубарев, О.С. Нуйя, 2026

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ В АДАПТИВНЫХ КОНТЕКСТНО-ЗАВИСИМЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

В.В. КОМАШИНСКИЙ, Т.В. КОМАШИНСКИЙ

АО «Альфа банк»,
г. Москва;

АО «Научно-производственное предприятие «Радар, ммс»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: нечеткая логика; *Fuzzy C-Means*; нечеткие когнитивные карты; *CFCM*; контекстно-зависимое управление доступом; *SAAC*; *ABAC*; распределенные корпоративные информационные системы; динамическая реконфигурация; *risk-score*; *trust-score*.

Аннотация: Цель исследования – повышение эффективности контекстно-зависимого управления доступом и архитектурой распределенных корпоративных информационных систем (РКИС). Задачи: сформулировать научную задачу как совокупность подзадач управления доступом и реконфигурации архитектуры; провести сравнительный анализ методов нечеткой логики (*Mamdani*, *Sugeno*, *Fuzzy C-Means*, НКК, *CFCM*); разработать гибридный алгоритм. Гипотеза: объединение контекстуального причинного моделирования (*CFCM*) и кластеризации (*FCM*) повышает точность идентификации состояния системы и снижает время реконфигурации. Методы: математическая формализация, сравнительный анализ по критериям, экспериментальное моделирование. Результаты: гибридный *CFCM+FCM* обеспечил точность 93 %, *F1-score* 91 % при латентности 12 мс, сократив время реконфигурации архитектуры с 60 до 3–5 минут.

Введение

Рост масштаба и сложности распределенных корпоративных информационных систем (РКИС), переход на микросервисные архитектуры и облачные платформы требуют пересмотра традиционных подходов к управлению архитектурой и доступом [1; 2]. Информационно-управляющая система (ИУС) современной РКИС сопровождает весь жизненный цикл *API* – от проектирования до эксплуатации, – обеспечивая идентификацию и контроль взаимодействия программных модулей. Цель исследования – на основе сравнительного анализа методов нечеткой логики сформировать предложения по разработке и модификации алгоритмов, повышающих эффективность ИУС РКИС при контекстно-зависимом управлении доступом и динамическом переконфигурировании архитектуры.

1. Постановка научной задачи

Рассматривается РКИС S , итоговая архитектура которой должна строиться на принципах *Zero Trust*. Система состоит из множества микросервисов $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$, пользовательских устройств $D = \{d_1, d_2, \dots, d_K\}$, интеграционных интерфейсов (*API*) $I = \{i_1, i_2, \dots, i_L\}$ и сетевых сегментов. Управление РКИС осуществляется ИУС, которая должна функционировать на основе контекстного анализа межсистемных интеграций, пользовательских интерфейсов, инфокоммуникационных устройств. Контекст запроса задается кортежем:

$$C = \langle C_{user}, C_{device}, C_{net}, C_{api}, C_{payload}, C_{env}, T \rangle, \quad (1)$$

где C_{user} – атрибуты пользователя (роль, история, аномальность поведения); C_{device} – параметры устройства (тип, *trust*-статус *EDR/MDM*,

ОС); C_{net} – параметры сети; C_{api} – характеристики API-вызова; $C_{payload}$ – параметры полезной нагрузки протокола; C_{env} – параметры среды; T – временная метка.

Научную задачу можно свести к двум взаимосвязанным подзадачам.

$$d^*(q) = \arg \min_{d \in \mathcal{D}} [\lambda_1 Risk(d, C) + \lambda_2 (1 - Avail(d, C))], \quad (2)$$

где $Risk(d, C)$ – нечеткая оценка риска решения d в контексте C ; $Avail(d, C)$ – оценка доступности; λ_1, λ_2 – весовые коэффициенты, определяемые политикой безопасности, $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

Подзадача 2. По контексту C определить оптимальную архитектурную конфигурацию α^* из множества допустимых конфигураций A :

$$\alpha^* = \arg \max_{\alpha_j \in A} F(\alpha_j, C) \quad s.t. \quad \alpha_j \models \Phi_{ZT}, \quad (3)$$

где $F(\alpha_j, C)$ – функция соответствия конфигурации контексту; Φ_{ZT} – множество архитектурных ограничений РКИС (микросегментация, минимальные привилегии, непрерывная верификация). Далее рассматриваются методы нечеткой логики, пригодные для обработки контекстных данных и вычисления градуированных оценок риска и доверия.

2. Нечеткие системы вывода Mamdani и Sugeno

Нечеткие системы вывода (*Fuzzy Inference Systems, FIS*) строят решение по базе правил *IF-THEN* на лингвистических переменных [8]. Система *Mamdani* формирует выход через фазификацию, агрегирование правил и дефазификацию (центр тяжести); в *CAAC* результат y^* трактуется как *risk-score/trust-score* [9; 10]. Система *Sugeno* использует линейное заключение правил, что снижает вычислительные затраты и удобно для *real-time* применений:

$$z^* = \frac{\sum_{r=1}^R w_r z_r}{\sum_{r=1}^R w_r}, \quad (4)$$

$$w_r = \min(\mu_{Ar1}(x_1), \mu_{Ar2}(x_2)),$$

где $z_r = p_r x_1 + q_r x_2 + s_r$.

В задаче *AaC* нечеткий вывод оценива-

Подзадача 1. Для запроса q с контекстом C вычислить градуированное решение $d(q) \in [0, 1]$ (от полного запрета до полного разрешения), минимизирующее интегральный риск при сохранении доступности:

ет пригодность архитектурной конфигурации $F(\alpha_j, C)$. Полный вывод формул *Mamdani/Sugeno* и примеры правил [8–10].

3. Алгоритм нечеткой кластеризации Fuzzy C-Means

Алгоритм *Fuzzy C-Means (FCM)* [16] выполняет мягкую кластеризацию объектов, минимизируя целевую функцию с весами принадлежности $u_{ik} \in [0, 1]$:

$$J_m = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n u_{ik}^m \|x_k - v_i\|^2. \quad (5)$$

В задаче *CAAC* контекст запроса кластеризуется на типовые группы («обычный доступ», «удаленный доступ», «подозрительный контекст»), а степени принадлежности используются как атрибуты *ABAC/CAAC*-политики [11–13]. В задаче *AaC* кластеризация конфигураций по метрикам производительности ускоряет выбор эталонной архитектуры. Формулы обновления центроидов и степеней принадлежности, критерий сходимости и примеры применения [11–13; 16].

4. Нечеткие когнитивные карты (НKK)

Нечеткая когнитивная карта (**НKK**, *Kosko* [17]) – ориентированный взвешенный граф концептов, состояние которых обновляется итерационно с сигмоидной активацией:

$$C_i(t+1) = f\left(C_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ij} C_j(t)\right), \quad (6)$$

$$\text{где } f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda(x-x_0)}}.$$

В управлении доступом НKK моделирует причинные связи между факторами

(*ThreatLevel* → *RiskLevel* и др. [18–20]); в задаче *AaC* – влияние нагрузки и сбоев на архитектурные решения [19; 21]. Детали построения графа, вида активационной функции и итеративной сходимости [17–21].

5. Контекстуальная нечеткая когнитивная карта (CFCM)

CFCM [18; 22] расширяет НКК явной привязкой входных концептов к текущему контексту запроса *C* и адаптацией весов $w_{ij}(t)$ во времени:

$$C_i(t+1) = \begin{cases} g_i(C), & \text{если } C_i \in C_{in}; \\ f\left(C_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ij}(t) C_j(t)\right), & \text{иначе.} \end{cases} \quad (7)$$

Выходные концепты ($risk_{level}$, $trust_{level}$, $impact_{score}$) проецируются в атрибуты *ABAC/CAAC*-политик; для задачи *AaC* вводятся концепты *ServiceCriticality* и *ArchitectureReconfigScore*, определяющие целевую архитектурную конфигурацию. Полное описание структуры концептов, правил проекции в политики доступа и примеров [18; 22].

6. Гибридный алгоритм на основе совместного применения CFCM и FCM

На основании проведенного анализа предлагается гибридный алгоритм, объединяющий сильные стороны рассмотренных методов и реализуемый в три фазы.

Фаза 1 (кластеризация контекстов, *FCM*). Контекстные векторы запросов $x_k = (C_{user}, C_{device}, C_{net}, C_{api}, C_{payload}, C_{env})$ кластеризуются алгоритмом *FCM* в *s* кластеров. Степени принадлежности u_{ik} формируют дополнительные атрибуты $ctx_cluster_normal$, $ctx_cluster_suspicious$, $ctx_cluster_anomalous$; *FCM* периодически переобучается на скользящем окне журналов для адаптации к изменяющимся паттернам.

Фаза 2 (контекстуальная когнитивная карта, *CFCM*). Входные концепты *CFCM* инициализируются базовыми атрибутами *ABAC* и степенями принадлежности *FCM*-кластерам из Фазы 1.

CFCM выполняет итерационный расчет и формирует выходные атрибуты $risk_{level}$,

$trust_{level}$, $impact_{score}$, $situation_criticality$, $architecture_reconfig_score$.

Фаза 3 (принятие решений). Для *CAAC* выходные атрибуты *CFCM* применяются в *ABAC/CAAC*-политиках для вычисления градуированного решения $d^*(q)$, при необходимости уточняемого нечетким выводом *Sugeno*. Для *AaC* значение $architecture_reconfig_score$ определяет конфигурацию α^* , а оркестратор выполняет масштабирование микросервисов, переключение маршрутов, активацию резервных модулей и сборку программных модулей на лету. Интегральная оценка *CFCM+FCM*:

$$Score_{ZT} = \beta_1 C_{RiskLevel}(T^*) + \beta_2 C_{ImpactScore}(T^*) + \beta_3 \max_i \{u_{(i,suspicious)}\}, \quad (8)$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ – весовые коэффициенты, калибруемые на исторических данных; $Score_{ZT}$ – единый *Zero Trust* скор, используемый одновременно для управления доступом и архитектурной реконфигурации.

Предложены следующие модификации классических алгоритмов:

1) адаптивный параметр фазификации $m(t) = 2 - \delta \cdot \exp(-t/\tau)$ в *FCM*, обеспечивающий более мягкие кластеры на начальном этапе и более четкие – по мере накопления данных;

2) обучение контекстно-зависимых весов *CFCM* по нелинейному правилу Хебба с учетом подтвержденных инцидентов ИБ: $\Delta w_{ij} = \eta C_i(t) \cdot [C_j(t) - w_{ij}(t)] \cdot I_{incident}$;

3) каскадная архитектура, в которой быстрый *FCM*-классификатор обрабатывает каждый запрос (< 5 мс), а полный расчет *CFCM* запускается лишь при попадании запроса в «подозрительный» или «аномальный» кластер, снижая среднюю латентность с 52 до 12 мс при сохранении точности 93 %;

4) многослойная *CFCM* для *ZTA* с отдельными матрицами весов для слоя микросервисов и *API*, слоя сетевых сегментов и устройств и слоя миссионных сервисов, где межслойные связи отражают зависимости «*API* → сервис → миссия».

7. Экспериментальная оценка

Эффективность гибридного подхода проверена путем моделирования на синтетическом наборе данных (10 000 запросов, 12 контекст-

Таблица 1. Результаты экспериментальной оценки (* – каскадный режим)

Метод	Accuracy, %	F1-score, %	Латентность, мс	Интерпретируемость (1–10)
Четкая логика	72	68	2	9
<i>Mamdani</i>	81	78	8	8
<i>Sugeno</i>	83	80	12	7
<i>FCM + Mamdani</i>	86	84	15	7
НKK	84	82	25	7
<i>CFCM</i>	89	87	40	8
<i>CFCM + FCM</i>	93	91	52 (12)*	8

ных атрибутов, 5 классов контекстов).

Гибридный алгоритм *CFCM + FCM* обеспечивает наивысшую точность классификации контекстов (93 %) и *F1-score* (91 %) при приемлемой латентности в каскадном режиме (12 мс). Четкая логика, несмотря на минимальную латентность, показывает точность лишь 72 % из-за неспособности учитывать нечеткие и смешанные контексты. Для подзадачи динамической переконфигурации гибридный подход сокращает время реконфигурации архитектуры с 60 минут (ручной режим) до 3–5 минут (автоматический режим через *CFCM-driven* оркестрацию), поскольку *CFCM* напрямую выдает оценку *architecture_reconfig_score*, определяющую целевую конфигурацию без дополнительного анализа.

Заключение

В статье на основе выполненного комплексного анализа методов нечеткой логики, предложено для повышения эффективности функционирования ИУС РКИС формирование алгоритмов на основе комплексного применения нечетких систем вывода *Mamdani* и *Sugeno*, нечеткой кластеризации *Fuzzy C-Means*, нечетких когнитивных карт (НKK) и контекстуальных нечетких когнитивных карт (*CFCM*) для обеспечения адаптивного контекстно-зависимого управления доступом и динамического контекстно-зависимого управления архитектурой РКИС в целях удовлетворения требованиям к парадигме *Zero Trust*.

Литература/References

1. Rose, S. Zero Trust Architecture / S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, S. Connelly // NIST SP 800-207. – NIST, 2020. – 59 p. [Electronic resource]. – Access mode : <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/207/final>. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-207.
2. Balalaie, A. Microservices Architecture Enables DevOps: Migration to a Cloud-Native Architecture / A. Balalaie, A. Heydarnoori, P. Jamshidi // IEEE Software. – 2016. – Vol. 33. – No. 3. – P. 42–52. – DOI: 10.1109/MS.2016.64.
3. Hu, V.C. Guide to Attribute Based Access Control (ABAC) Definition and Considerations / V.C. Hu, D. Ferraiolo, D.R. Kuhn, A. Schnitzer, K. Sandlin, R. Miller, K. Scarfone // NIST SP 800-162. – NIST, 2014. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-162.
4. McGraw, R. Risk-Adaptable Access Control (RAdAC) / R. McGraw // Proc. NIST Privilege Management Workshop. – 2009.
5. Kayes, A.S.M. A Survey of Context-Aware Access Control Mechanisms for Cloud and Fog Networks / A.S.M. Kayes, Rudri Kalaria, I.H. Sarker, Md. Saiful Islam, P.A. Watters, A. Ng, M. Hammoudeh, S. Badsha, I. Kumara // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – No. 9. – Art. 2464. – DOI: 10.3390/s20092464. – EDN: KZGYTX.
6. Wurster, M. TOSCA Light: Bridging the Gap between Declarative and Imperative Cloud Application Provisioning / M. Wurster, U. Breitenbücher, L. Harzenetter, F. Leymann, J. Soldani,

V. Yussupov // Proc. CLOSER, 2020. – DOI: 10.5220/0009794302160226.

7. Binz, T. OpenTOSCA – A Runtime for TOSCA-Based Cloud Applications / T. Binz, U. Breitenbücher, F. Haupt, O. Kopp, F. Leymann, A. Nowak, S. Wagner // Proc. ICSOC 2013, LNCS 8274. – Springer. – DOI: 10.1007/978-3-642-45005-1_62.

8. Types of Fuzzy Inference Systems (Mamdani/Sugeno). MathWorks Documentation [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/types-of-fuzzy-inference-systems.html>.

9. Cheng, P. Fuzzy Multi-Level Security: An Experiment on Quantified Risk-Adaptive Access Control / P. Cheng, P. Rohatgi, C. Keser, P.A. Karger, G.M. Wagner, A.S. Reninger // IEEE Xplore. – 2007. – DOI:10.1109/SP.2007.21.

10. Risk Based Access Control with Uncertain and Imprecise Information // Proc. SCITEPRESS, 2010.

11. Development of Trust Based Access Control Models Using Fuzzy Logic in Cloud Computing // arXiv:1912.01709.

12. Yang, S.-H. Improved Access Control using Context-Aware Security Service / S.-H. Yang, M.-D. Chung // Journal of Korea Multimedia Society. – 2010. – Vol. 13(1) [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/264108944_Improved_Access_Control_using_Context-Aware_Security_Service.

13. Mandujano, S. Deterring Password Sharing: User Authentication via Fuzzy C-Means Clustering Applied to Keystroke Biometric Data / S. Mandujano, R. Soto // IEEE Xplore. – 2004. – DOI: 10.1109/ENC.2004.1342604.

14. Atlam, H.F. Fuzzy Logic with Expert Judgment to Implement an Adaptive Risk-Based Access Control Model for IoT / H.F. Atlam, R.J. Walters, G. Wills, J. Daniel // Mobile Networks and Applications. – 2021. – Vol. 26(2). – DOI:10.1007/s11036-019-01214-w.

15. A novel Fuzzy logic-based adaptive Access control model for blockchain-based IoT in edge computing (Fuzzychain-edge) // arXiv:2601.10105.

16. Bezdek, J.C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms / J.C. Bezdek. – Plenum Press, 1981. – 256 p. – DOI: 10.1007/978-1-4757-0450-1.

17. Kosko, B. Fuzzy Cognitive Maps / B. Kosko // Int. J. Man-Machine Studies. – 1986. – Vol. 24. – No. 1. – P. 65–75. – DOI: 10.1016/S0020-7373(86)80040-2.

18. Zaghdoud, M. Contextual Fuzzy Cognitive Map for Intrusion Response System / M. Zaghdoud, M.S. Al-kahtani. – 2013 [Electronic resource]. – Access mode : https://www.researchgate.net/publication/263541856_Contextual_Fuzzy_Cognitive_Map_for_Intrusion_Response_System.

19. Aparicio-Navarro, F.J. Adding Contextual Information to Intrusion Detection Systems Using Fuzzy Cognitive Maps / F.J. Aparicio-Navarro, K. Kyriakopoulos, D.J. Parish, J. Chambers // 2016 IEEE International Multi-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support (CogSIMA). – 2016. – DOI:10.1109/COGSIMA.2016.7497807.

20. Model for decision-making on access control to remote laboratory practices based on fuzzy cognitive maps // Revista Investigación Operacional, 2024.

21. Fuzzy Cognitive Maps Modelling Supervisory Large Scale Control Systems.

22. Application of Bayesian Belief Networks and Fuzzy Cognitive Maps in Intrusion Analysis / Yit Yin Wee, Wooi Ping Cheah, Shih Yin Ooi, Shing Chiang Tan, Wee Kuokkwee // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. – 2018. – Vol. 35(12). – P. 1–12. – DOI: 10.3233/JIFS-169572.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАФОВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В АДАПТИВНЫХ КОНТЕКСТНО-ЗАВИСИМЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

В.В. КОМАШИНСКИЙ, Т.В. КОМАШИНСКИЙ

АО «Альфа банк»,
г. Москва;

АО «Научно-производственное предприятие «Радар, ммс»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: графовые нейронные сети; *GraphSAGE*; *Weighted GraphSAGE*; *Context-Aware GNN*; контекстно-зависимое управление доступом; *CAAC*; *ABAC*; *Zero Trust*; *Architecture as a Code*; нейросетевое управление; динамическая реконфигурация.

Аннотация: Цель исследования – повышение эффективности контекстно-зависимого управления доступом и архитектурой распределенных корпоративных информационных систем (**РКИС**) средствами графовых нейронных сетей (**GNN**). Задачи: формализовать РКИС как гетерогенный граф; провести сравнительный анализ *GCN*, *GAT*, *GraphSAGE*, *Weighted GraphSAGE* и *CA-SA-GNN*; разработать гибридный алгоритм. Гипотеза: объединение контекстно-адаптивной модуляции (*CA-SA-GNN*) и масштабируемого взвешенного семплирования (*Weighted GraphSAGE*) повышает точность классификации запросов и скорость реконфигурации архитектуры. Методы: математическая формализация, критериальное сравнение, экспериментальное моделирование на синтетическом датасете. Результаты: гибридная модель достигла *AUC-ROC* 96 %, *F1-score* 94 % при латентности 15 мс, обеспечив точность реконфигурации архитектуры 89 %.

Введение

По мере усложнения и роста масштабов распределенных корпоративных информационных систем (**РКИС**) наблюдается переход к динамическим, учитывающим контекст, информационно-управляющим системам (**ИУС**), в которых каждый запрос на доступ проверяется с учетом множества параметров – характеристик оконечных устройств, состояния сетевого окружения, особенностей вызываемых *API* и содержимого передаваемой полезной нагрузки [1; 2].

Практика применения показывает, что традиционные модели разграничения доступа, включая *RBAC* и даже *ABAC*, недостаточно гибки и не успевают реагировать своевременно в условиях быстро меняющегося контекста и значительного числа одновременных взаимодействий [3; 4].

Поскольку РКИС естественным образом представима в виде гетерогенного графа взаимосвязанных сущностей (пользователей, устройств, микросервисов, ресурсов), графовые нейронные сети (**GNN**) образуют перспективный класс моделей для решения данной проблемы [5; 9; 10].

Целью настоящего исследования является сопоставительный анализ архитектур *GNN* – *GCN*, *GAT*, *GraphSAGE*, *Weighted GraphSAGE* и *CA-SA-GNN* [5; 15; 16] – и последующая разработка на его основе гибридного алгоритма, повышающего результативность контекстно-зависимого управления доступом и динамического формирования архитектуры РКИС.

1. Постановка научной задачи

Пусть РКИС *S* – система, конечная архитек-

тура которой должна отвечать принципам *Zero Trust*, а ее функционированием управляет ИУС, опирающаяся на анализ контекста межсистемных интеграций, пользовательских интерфейсов и подключенных устройств.

Совокупность взаимодействий сущностей РКИС описывается гетерогенным графом:

$$G = (V, E, X, \mathcal{R}), V = V_{user} \cup V_{device} \cup V_{service} \cup V_{api} \cup V_{resource} \quad (1)$$

здесь V объединяет узлы всех типов – пользователей, устройства, микросервисы, *API*-эндпоинты и ресурсы; E – множество ребер (запросы доступа, интеграционные вызовы, сетевые соединения); X – признаковые векторы узлов, отражающие контекстные атрибуты; $\mathcal{R}$ – множество типов ребер графа. Контекст запроса C формируется по аналогии с подходом [17] и включает атрибуты пользователя, устройства, сети, *API*, полезной нагрузки и текущей среды. Итоговая задача распадается на две взаимоувязанные подзадачи.

Подзадача 1. Для каждого запроса q обучить модель:

$$f_{GNN}: (G, v_q, u_q, C_q) \rightarrow \hat{y}_q \in \{permit, deny, step-up\}, \quad (2)$$

где v_q – узел-субъект, u_q – узел-ресурс, $\hat{y}_q$ – решение. Модель должна максимизировать *AUC-ROC* при минимальной латентности.

Подзадача 2. Определить архитектурную реконфигурацию:

$$g_{GNN}: (G, C_{sys}) \rightarrow \alpha^* \in A, \quad (3)$$

где C_{sys} – текущее состояние системы (нагрузка, аномалии, инциденты); A – множество допустимых конфигураций; α^* – оптимальная конфигурация, удовлетворяющая ограничениям *ZTA*.

2. Базовые архитектуры GNN: GCN и GAT

Модель *GCN* [18] реализует послойную свертку эмбедингов узлов через усреднение признаков соседних узлов с нормировкой по степеням графа.

Архитектура *GAT* [19], в отличие от нее, заменяет подобную нормировку обучаемыми коэффициентами внимания, самостоятельно опре-

деляя вклад каждого соседа, – данное свойство полезно для *СААС*, поскольку позволяет модели выделять подозрительные связи.

Общий недостаток обеих архитектур – трансдуктивность: для обучения требуется полная матрица смежности, а добавление новых узлов невозможно без повторного обучения модели целиком, что заметно ограничивает применимость этих методов в постоянно изменяющейся РКИС и подталкивает к переходу на индуктивные модели [15; 18; 19].

3. Индуктивные модели: GraphSAGE и Weighted GraphSAGE

Модель *GraphSAGE* [15] достигает масштабируемости благодаря семплированию фиксированного числа соседей и индуктивной схеме обучения, что дает возможность обрабатывать новые узлы – вновь появившихся пользователей, устройства, сервисы – без переобучения модели, а это критически важно для динамично меняющейся РКИС.

Развитие данного подхода, *Weighted GraphSAGE* [5], дополнительно учитывает при агрегации веса ребер, отражающие «силу» контекстной связи между узлами:

$$w_{vu} = \phi(freq_{vu}, risk_{vu}, sens_u, C_q), \quad (4)$$

где $freq_{vu}$ – частота взаимодействий узлов v и u ; $risk_{vu}$ – оценка риска соответствующей связи; $sens_u$ – степень чувствительности ресурса u ; ϕ – функция (обучаемая либо заданная экспертно), вычисляющая итоговый вес. По результатам работы [5], такая схема превосходит и классические *СААС*-модели, и базовый *GraphSAGE* – как при классификации запросов доступа (*permit/deny*), так и при выявлении «горячих точек» интеграционных вызовов между микросервисами, что полезно для последующей реконфигурации.

4. Context-Aware Structural Adaptive GNN (CA-SA-GNN)

Архитектура *CA-SA-GNN* [16] отличается наличием контекстного модулятора Ψ , который меняет саму структуру агрегации графа в зависимости от глобального контекста – текущего уровня угроз, режима работы и загрузки системы:

Таблица 1. Результаты экспериментальной оценки (* – при каскадном режиме)

Метод	AUC-ROC (%)	F1 (%)	Латентность (мс)
MLP	78	74	3
GCN	84	80	12
GAT	86	83	18
GraphSAGE	88	85	15
Weighted GraphSAGE	91	88	20
CA-SA-GNN	93	91	35
Гибридный (предлаг.)	96	94	42 (15)*

$$A_{ctx}^{(l)} = A \odot \Psi^{(l)}(C), \quad (5)$$

При обострении угроз модулятор усиливает вклад одних связей графа и ослабляет значение других, а по мере нормализации обстановки возвращает агрегацию к стандартной схеме – тем самым сам механизм принятия решений подстраивается под текущую ситуацию [16].

5. Гибридный алгоритм CA-SA-GNN + Weighted GraphSAGE

Предлагаемый гибридный алгоритм объединяет контекстно-адаптивную структурную модуляцию из CA-SA-GNN с масштабируемым взвешенным семплированием из Weighted GraphSAGE и состоит из трех компонентов.

Первый компонент – контекстный модулятор: глобальный контекст c (уровень угроз, загрузка системы, признак инцидента, временной контекст) преобразуется модулятором Ψ в маску, изменяющую веса ребер графа:

$$\tilde{w}_{vu}^{(l)} = w_{vu} \cdot \Psi_{vu}^{(l)}(C_{sys}), \quad (6)$$

где w_{vu} – исходный вес ребра, вычисленный по формуле (4); C_{sys} – глобальный контекст текущего состояния системы.

Второй компонент – взвешенная семплированная агрегация: соседние узлы отбираются с вероятностью, пропорциональной модулированным весам $\tilde{w}$, после чего эмбединги агрегируются по схеме GraphSAGE:

$$h_{N(v)}^{(l)} = \sum_{u \in S_w(v)} \frac{\tilde{w}_{vu}^{(l)}}{\sum_{k \in S_w(v)} \tilde{w}_{vk}^{(l)}} \cdot h_u^{(l-1)}, \quad (7)$$

где $S_w(v)$ обозначает выборку соседей размера K , сформированную с учетом весов $\tilde{w}$.

Третий компонент – двойной классификатор: итоговые эмбединги узлов используются одновременно в двух задачах в режиме *multi-task learning*:

$$\hat{y}_{access} = \text{softmax}(W_{acc} \cdot [h_{vq}^L \| h_{uq}^L \| c]), \quad (8)$$

$$\hat{\alpha}_{reconfig} = \text{softmax}(W_{arch} \cdot \text{READOUT}(G, H^{(L)})), \quad (9)$$

здесь $\hat{y}_{access}$ – решение по доступу (*permit/deny/step-up*); $\hat{\alpha}_{reconfig}$ – рекомендованная архитектурная конфигурация; *READOUT* – функция агрегации графа (усреднение либо *attention-pooling*). Обучение модели ведется по совмещенной функции потерь:

$$\mathcal{L} = \lambda_1 \mathcal{L}_{access} + \lambda_2 \mathcal{L}_{reconfig} + \lambda_3 \|\Theta\|_2^2, \quad (10)$$

где $\mathcal{L}_{access}$ – кросс-энтропия для классификации доступа; $\mathcal{L}_{reconfig}$ – потеря для архитектурной задачи; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – весовые коэффициенты; Θ – параметры модели.

6. Экспериментальная оценка

Работоспособность предложенного гибридного алгоритма проверена на синтетическом наборе данных РКИС объемом 50 000 запросов доступа, 12 000 узлов и 180 000 ребер при 15 контекстных атрибутах и трех классах решений.

Между собой сопоставлены семь методов: MLP без учета графовой структуры, GCN, GAT, GraphSAGE, Weighted GraphSAGE, CA-SA-GNN и предложенная гибридная модель (табл. 1).

Как видно из таблицы, гибридная модель показывает наилучшие значения AUC-ROC

(96 %) и $F1$ (94 %), опережая лучшую из оди-
нотных архитектур ($CA-SA-GNN$) на 3 процент-
ных пункта, а базовый MLP – на 18; в каскад-
ном режиме средняя задержка составляет 15 мс,
что вполне приемлемо для принятия решений о
доступе в режиме реального времени.

В задаче архитектурной реконфигурации
предложенная модель формирует рекомендации
с точностью 89 % при среднем времени 45 мс
на одно решение, обеспечивая динамическую
сборку программных модулей РКИС «на лету»
в составе CI/CD -конвейера.

Заключение

В статье на основе проведенного срав-
нительного анализа методов нейросетевого
управления предложено для повышения эф-
фективности функционирования ИУС РКИС
использовать комплексный подход и для фор-
мирования алгоритмов работы ИУС использо-
вать комбинированное применение графовых
нейронных сетей – GCN , GAT , $GraphSAGE$,
 $Weighted GraphSAGE$ и $Context-Aware Structural$
 $Adaptive GNN (CA-SA-GNN)$.

Литература/References

1. Rose, S. Zero Trust Architecture / S. Rose, O. Borchert, S. Mitchell, S. Connelly // NIST SP 800-207. – NIST, 2020. – 59 p. [Electronic resource]. – Access mode : <https://csrc.nist.gov/pubs/sp/800/207/final>. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-207.
2. Balalaie, A. Microservices Architecture Enables DevOps: Migration to a Cloud-Native Architecture / A. Balalaie, A. Heydarnoori, P. Jamshidi // IEEE Software. – 2016. – Vol. 33. – No. 3. – P. 42–52. – DOI: 10.1109/MS.2016.64.
3. Hu, V.C. Guide to Attribute Based Access Control (ABAC) Definition and Considerations / V.C. Hu, D. Ferraiolo, D.R. Kuhn, A. Schnitzer, K. Sandlin, R. Miller, K. Scarfone // NIST SP 800-162. – NIST, 2014. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-162.
4. Kayes, A.S.M. A Survey of Context-Aware Access Control Mechanisms for Cloud and Fog Networks / A.S.M. Kayes, Rudri Kalaria, I.H. Sarker, Md. Saiful Islam, P.A. Watters, A. Ng, M. Hammoudeh, S. Badsha, I. Kumara // Sensors. – 2020. – Vol. 20. – No. 9. – Art. 2464. – DOI: 10.3390/s20092464. – EDN: KZGYTX.
5. Shan, S. A Weighted GraphSAGE-Based Context-Aware Approach for Big Data Access Control / S. Shan, Y. Du et al. // Big Data. – 2024 [Electronic resource]. – Access mode : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37527185>. – DOI: 10.1089/big.2021.0473. – EDN: GPOWOB.
6. Yuan Zhang. Graph Neural Network-Based User Preference Model for Social Network Access Control / Yuan Zhang // Informatica. – 2025. – Vol. 49. – No. 16. – DOI: 10.31449/inf.v49i16.7705. – EDN: QFDCXT.
7. Wurster, M. TOSCA Light: Bridging the Gap between Declarative and Imperative Cloud Application Provisioning / M. Wurster, U. Breitenbücher, L. Harzenetter, F. Leymann, J. Soldani, V. Yussupov // Proc. CLOSER, 2020. – DOI: 10.5220/0009794302160226.
8. Binz, T. OpenTOSCA – A Runtime for TOSCA-Based Cloud Applications / T. Binz, U. Breitenbücher, F. Haupt, O. Kopp, F. Leymann, A. Nowak, S. Wagner // Proc. ICSOC 2013, LNCS 8274. – Springer. – DOI: 10.1007/978-3-642-45005-1_62.
9. Premkumar, A. Graph Representation Learning for Context-Aware Network Intrusion Detection / A. Premkumar, M. Schneider, C. Spivey, J. Pavlik, N. Bastian // Artificial Intelligence and Machine Learning for Multi-Domain Operations Applications V, 2023. – DOI:10.1117/12.2663162.
10. Li, J. Context-Aware Graph Neural Network for Graph-Based Fraud Detection / J. Li, et al. // Proc. AAAI/ACM. – 2023.
11. Graph Neural Network-Based Adaptive Threat Detection for Cloud Identity and Access Management Logs / Venkata Tanuja Madireddy // arXiv:2512.10280v1. – 2025.
12. Pro-ZD: A Transferable GNN Approach for Proactive Zero-Day Threats Mitigation / Nardine Basta, Firas Ben Hmida, Housseem Jmal, Muhammad Ikram, Mohamed Ali Kaafar, Andy Walker // arXiv:2602.07073. – 2026.
13. A Survey on Privacy in Graph Neural Networks: Attacks, Preservation, and Applications / Yi Zhang, Yuying Zhao, Zhaoqing Li, Xueqi Cheng, Yu Wang, Olivera Kotevska, Philip S. Yu, Tyler Derr // arXiv:2308.16375. – 2023.

14. Xu S. et al. Log2Policy: An Approach to Generate Fine-Grained Access Control Rules for Microservices from Scratch / S. Xu, Q. Zhou, H. Huang, X. Jia, H. Du, Y. Chen, Y. Xie // ACSAC '23: Proceedings of the 39th Annual Computer Security Applications Conference, 2023. – P. 229–240 [Electronic resource]. – Access mode : <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3627106.3627137>.
15. Hamilton, W.L. Inductive Representation Learning on Large Graphs (GraphSAGE) / W.L. Hamilton, R. Ying, J. Leskovec // Proc. NeurIPS 2017 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/1706.02216>.
16. Chen, J. Context-Aware Structural Adaptive Graph Neural Networks / J. Chen, J. Xu, J. Hu, L. Qiao, S. Wang, F. Huang, C. Li // PRICAI 2024: Trends in Artificial Intelligence: 21st Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, PRICAI 2024, Kyoto, Japan, November 18–24, 2024, Proceedings, Part I. – P. 467–479 [Electronic resource]. – Access mode : https://dl.acm.org/doi/10.1007/978-981-96-0116-5_39.
17. Dey, A.K. Understanding and Using Context / A.K. Dey // Personal and Ubiquitous Computing. – 2001. – Vol. 5. – No. 1. – P. 4–7. – DOI: 10.1007/s007790170019. – EDN: ATJWZT.
18. Kipf, T.N. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks (GCN) / T.N. Kipf, M. Welling // Proc. ICLR, 2017 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/1609.02907>.
19. Veličković, P. Graph Attention Networks (GAT) / P. Veličković, G. Cucurull, A. Casanova, A. Romero, P. Liò, Y. Bengio // Proc. ICLR 2018 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/1710.10903>.
20. McGraw, R. Risk-Adaptable Access Control (RAdAC) / R. McGraw // Proc. NIST Privilege Management Workshop, 2009.
21. Weyns, D. An Introduction to Self-Adaptive Systems / D. Weyns. – Wiley, 2020. – DOI: 10.1002/9781119574910.
22. Shahin, M. Continuous Integration, Delivery and Deployment: A Systematic Review / M. Shahin, M. Ali Babar, L. Zhu // IEEE Access. – 2017. – Vol. 5. – DOI: 10.1109/ACCESS.2017.2685629.
23. Ying, R. GNNExplainer: Generating Explanations for Graph Neural Networks / R. Ying, D. Bourgeois, J. You, M. Zitnik, J. Leskovec // Proc. NeurIPS, 2019 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/1903.03894>.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МЕТРИК И МОДЕЛЕЙ ПОДСИСТЕМ ОЦЕНКИ ПОЛНОТЫ И СОГЛАСОВАННОСТИ ВРЕМЕННЫХ ПОТОКОВЫХ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Е.С. КОНСТАНТИНОВ, А.А. КОЧЕТКОВ

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»,
г. Иваново

Ключевые слова и фразы: временные потоковые данные; полнота и согласованность информации; качество данных; метрики и модели системы оценки и восстановления качества данных; системы хранения больших данных.

Аннотация: В статье рассматриваются особенности построения архитектуры систем и метрик оценки полноты и согласованности временных потоковых данных в распределенных системах хранения и обработки информации.

Показано, что временные потоковые данные характеризуются большими объемами и высокой изменчивостью, что предъявляет особые требования к методам и архитектуре подсистем оценки их полноты и согласованности на всех этапах сбора, передачи, обработки, хранения и анализа по запросам конечных пользователей.

Формулируется гипотеза об оценке качества временных потоковых данных в терминах как временной, так и структурной/семантической/доменной связности и полноты информации, а также обоснованности распределенной архитектуры подсистемы контроля качества потоковых данных. На основании проведенного анализа в статье предлагается структура и модель подсистемы оценки и восстановления согласованности и полноты информации в распределенных системах хранения и обработки. Материалы работы могут быть полезны для исследователей и разработчиков программно-аппаратных решений в системах, требующих обработки больших массивов информации, получаемых из гетерогенных источников в режиме реального времени.

Рост объемов, источников и форматов собираемой, хранимой и обрабатываемой информации приводит к тому, что значительная часть данных имеет событийную природу и характеризуется непрерывностью, временной упорядоченностью или высокой скоростью генерации. Подобные данные принято определять как временные потоковые (синонимы – *streaming data, time-series and event data*).

Основное отличие временных потоковых данных (ВПД) от традиционных статических наборов состоит в том, что они представляют собой последовательности событий, связанных временной зависимостью. Каждое событие имеет уникальную метку времени, которая фиксирует момент его возникновения, а совокуп-

ность зарегистрированных одномоментно событий из различных источников формирует поток информации, отражающий как динамику, так и контекст наблюдаемого процесса. Временной характер генерации и совместной обработки такой информации требует особого внимания к ее качеству, прежде всего полноте и согласованности как внутри каждого источника потоковых данных по отдельности, так и при их совместной обработке и анализе.

С точки зрения хранения и обработки к основным характеристикам ВПД можно отнести:

- наличие метки времени, относящейся к моменту возникновения или фиксации события в канале передачи данных или системе хранения;

- непрерывность, последовательность и временная связанность фиксируемых событий;
- потенциальная неполнота и наличие пропусков или искажений потоковых данных;
- потенциальная несогласованность или противоречивость наборов данных, относящихся к одному временному интервалу, но полученных из различных источников.

Таким образом, потоковые системы отличаются от классических систем хранения высокой динамичностью и вытекающими из этого свойства более высокими требованиями к качеству получаемых, обрабатываемых, сохраняемых и анализируемых данных.

В международных стандартах (*ISO/IEC 25012*, *ISO 8000*) качество данных трактуется как совокупность измеримых характеристик, отражающих структурную, логическую и семантическую корректность информации. При этом подчеркивается, что выбор конкретных метрик должен зависеть от архитектуры системы и режима обработки данных.

Для систем хранения больших данных (СХБД), особенно работающих с ВПД, ключевыми характеристиками качества данных являются полнота (*completeness*) и согласованность (*consistency*), поскольку именно они оказывают наибольшее влияние на корректность аналитических выводов.

Полноту и согласованность временных потоковых данных целесообразно трактовать как взаимосвязанные, но различимые характеристики.

Полнота отражает степень представленности (наличия) требуемых фактов, событий и атрибутов в наблюдаемом массиве данных для рассматриваемого временного интервала. Согласованность, в свою очередь, описывает непротиворечивость относящихся к единому временному интервалу данных из различных источников и корректность их совместного существования и анализа в разных слоях и представлениях.

В потоковой среде эти характеристики образуют единую систему: пропуски событий приводят к разрывам временных рядов и искажению агрегатов, а несогласованность данных или нарушение порядка событий может привести к невозможности их совместного анализа, представления в «витринах данных» или некорректным выводам в интеллектуальных системах поддержки принятия решений.

Таким образом, в системах, работающих

с ВПД, качество данных следует принимать в терминах как временной, так и структурной/семантической/доменной связности и полноты информации.

Кроме того, специфика временных потоковых данных проявляется в том, что само понятие «время» в системе имеет несколько смыслов, каждый из которых влияет на оценку и интерпретацию качества данных.

Как правило, могут быть выделены три временные координаты:

- время события (момент, к которому относится формирование набора данных в источнике информации);
- время регистрации данных в СХБД (момент получения системой сообщения/записи);
- время сохранения обработанных данных в подсистеме хранения (момент, когда событие становится доступным в целевом слое хранения или витрине).

В перечисленных временных координатах получаемые и обрабатываемые данные могут различаться. Если контроль качества строится только по времени поступления, он лучше отражает состояние транспортного контура, но хуже характеризует полноту наблюдений за период. Если же контроль строится по времени события, то он привязан к предметной временной шкале, но становится чувствительным к опоздавшим событиям и к ошибкам временной маркировки.

С учетом ограничений вычислительной мощности систем хранения и пропускной способности каналов передачи данных построение эффективной архитектуры контроля и восстановления полноты и согласованности ВПД приобретает особую актуальность.

Рассмотрение полноты и согласованности временных данных в системах хранения больших данных (СХБД) целесообразно начинать с фиксации того, что в потоково-ориентированных архитектурах качество данных становится не постфактум-характеристикой «готового набора», а динамическим свойством непрерывно формируемого массива. Работа системы может быть проиллюстрирована контекстной диаграммой (рис. 1).

В классических системах с пакетной загрузкой этап передачи и накопления данных отделяется от этапа контроля, что позволяет рассматривать обработанный набор данных как заверченный объект.

В системах обработки ВПД такое разделе-

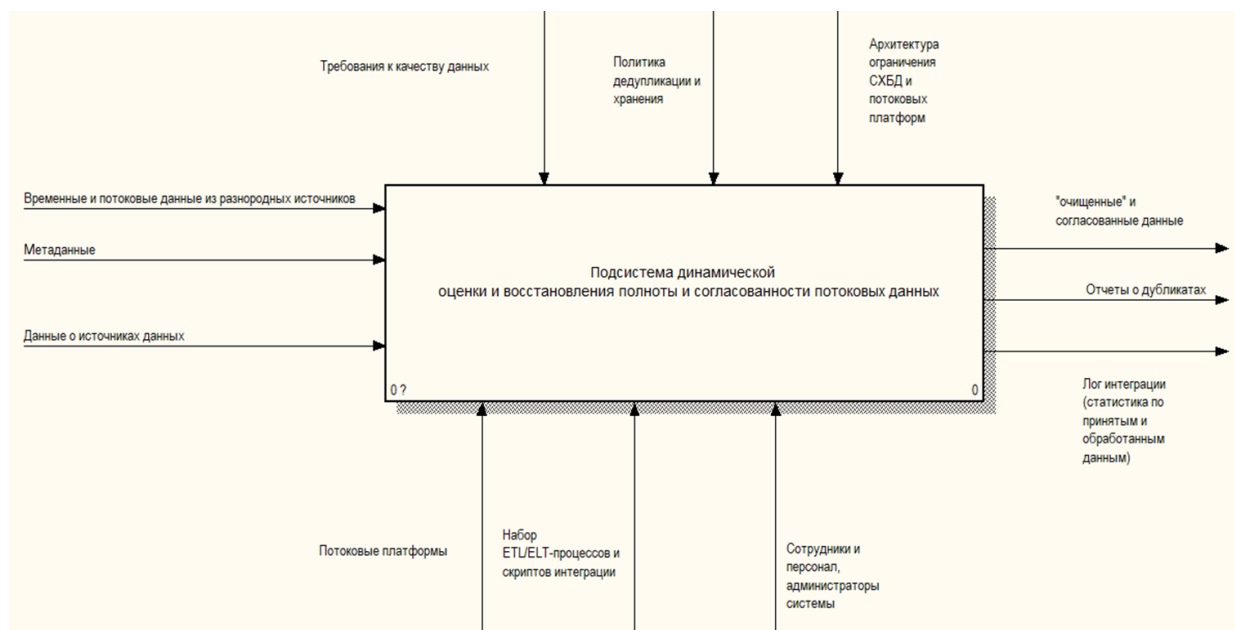


Рис. 1. Контекстная диаграмма работы системы

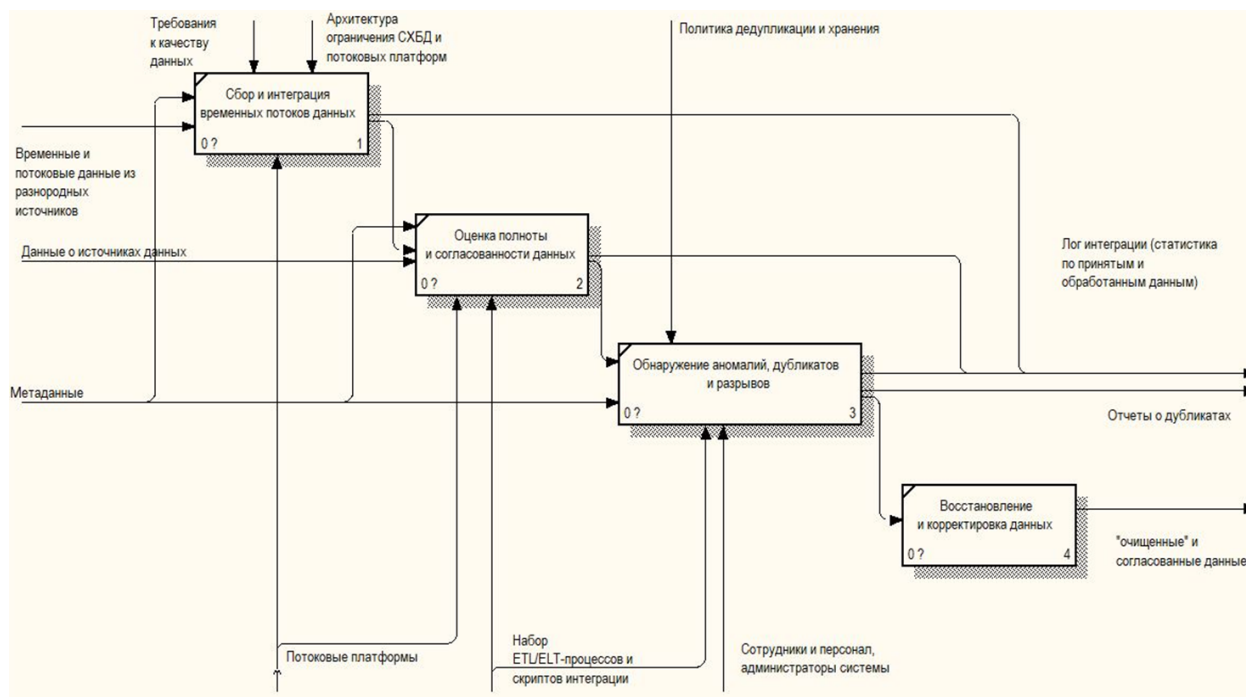


Рис. 2. Структура подсистемы оценки качества потоковых данных

ние ограничено: информация одновременно и непрерывно поступает, обрабатывается, агрегируется, реплицируется на узлы хранения и используется для обработки запросов конечных пользователей. При этом временная наблюдаемость наборов данных зависит от задержек до-

ставки, особенностей буферизации, политики обеспечения согласованности реплик, параметров и моделей оконной обработки и политики публикации производных представлений.

Таким образом, постановка задач оценки качества должна опираться на модели, которые:

а) допускают измерение на незавершенных временных интервалах;

б) отделяют собственно дефекты данных от временной «незрелости» потока;

в) позволяют интерпретировать метрики как сигналы управления подсистемами хранения и обработки.

На рис. 2 представлена возможная структура подсистемы оценки качества ВПД.

При выборе метрик и моделей оценки согласованности ВПД дополнительно целесообразно учитывать и оценивать:

– возможность существования в распределенной системе хранения одних и тех же наборов данных (например, объектов наблюдения или агрегированных показателей) в нескольких репликах или слоях хранения, при этом расхождение между ними отражает либо задержки репликации, либо конфликт обновлений, либо нарушение порядка обработки событий;

– степень упорядоченности временной структуры ВПД: события могут поступать неупорядоченно, и система должна либо обеспечивать корректное переупорядочивание в пре-

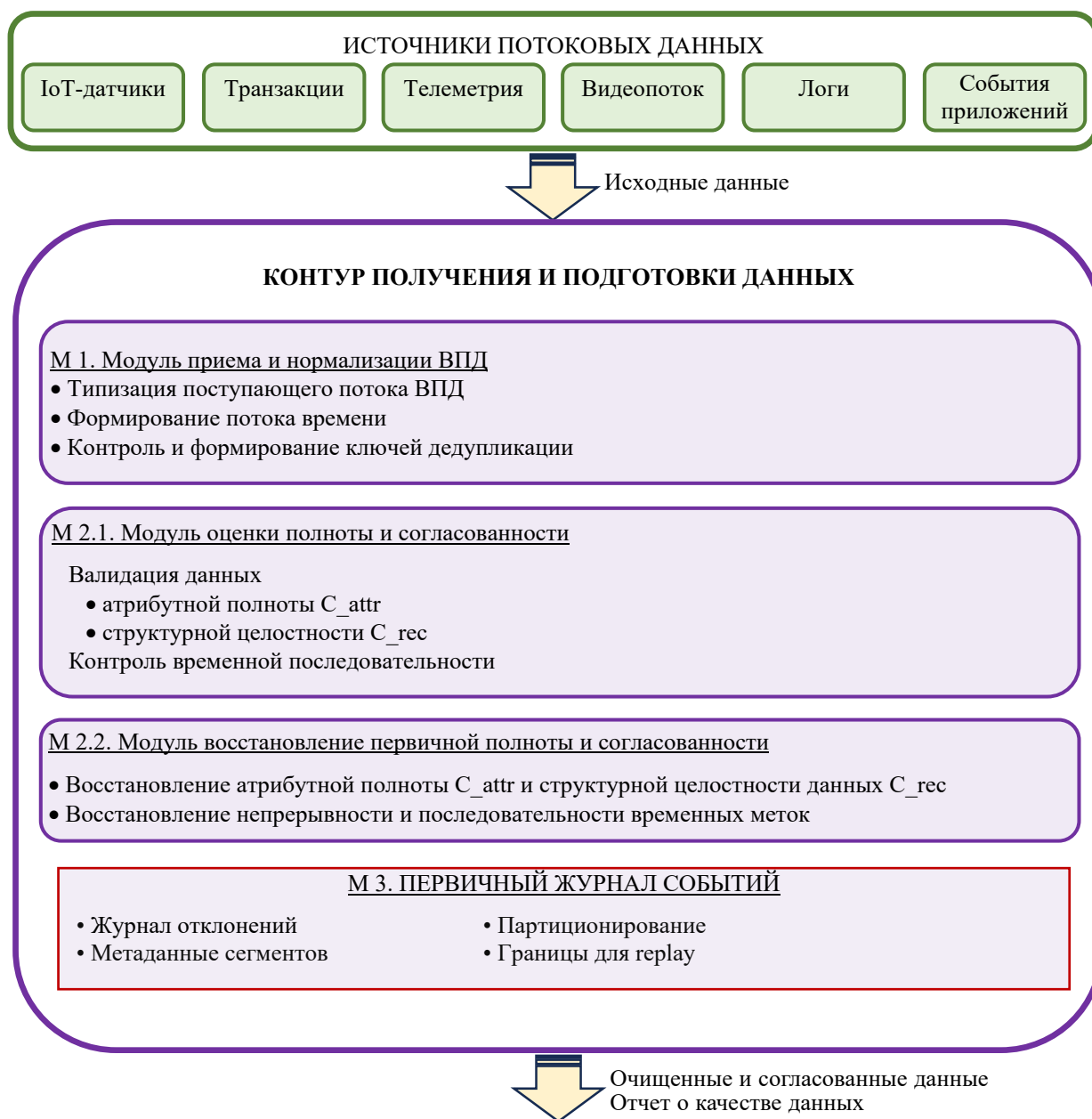


Рис. 3. Архитектура системы контроля и восстановления полноты и согласованности ВПД

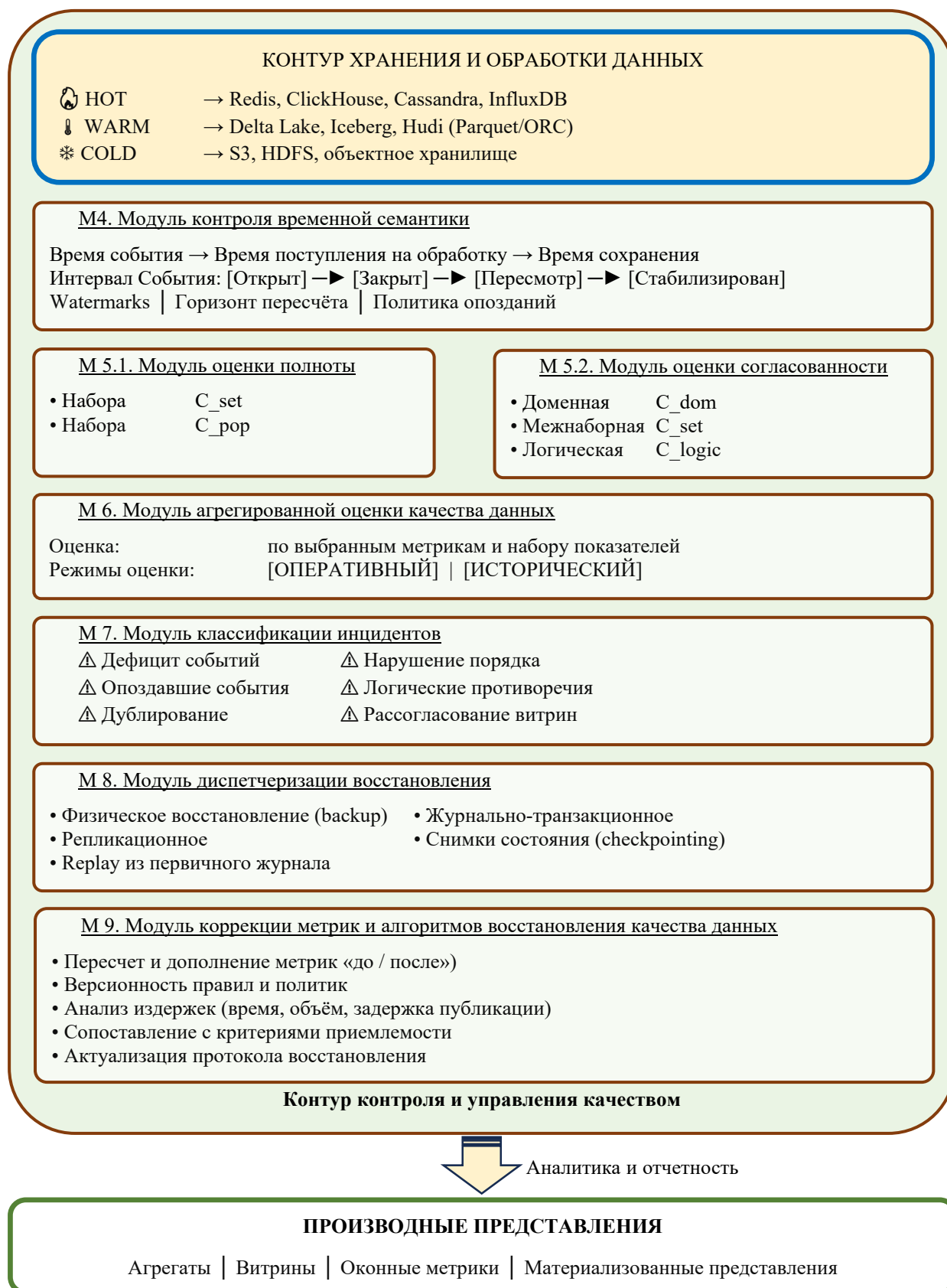


Рис. 3. Архитектура системы контроля и восстановления полноты и согласованности ВПД
(продолжение)

Таблица 1. Система метрик и критериев оценки полноты и согласованности временных данных

Измерение качества	Объект измерения	Смысл	Связь с управлением/восстановлением
Атрибутная полнота	Отдельные значения в наборе данных, включая временную метку	Дефект формирования элемента описания события, ошибка схемы, деградация источника	Валидация на входе, карантин/маркировка, повторный запрос при возможности
Полнота набора данных	Набор данных как единое целое	Противоречивость набора данных, несогласованность с другими данными, непригодность набора для агрегации, рост доли неполных записей	Фильтрация/обогащение, маршрутизация в отдельный слой для дообработки и восстановления
Полнота интервала по времени события	Окно на временной шкале процесса	Потери/разрывы наблюдений, снижение доверия к показателям за период	Дозагрузка из первичного журнала, повторная обработка интервала, интеллектуальное восстановление информации по смежным данным
Полнота интервала по времени поступления	Окно на шкале доставки	Перегрузка канала, сбой доставки, деградация производительности приема	Настройка буферов, балансировка, регулирование скорости потребления
Охват объектов (популяционная полнота)	Множество идентификаторов объектов	Недонаблюдение сегментов, «выпадение» источников или групп	Проверка реестра, восстановление подключений, адресное восстановление потоков
Дублирование событий	Ключи событий и повторяемость	Завышение агрегатов, смещение статистик, «фантомный рост»	Дедупликация, идемпотентная запись, усиление ключевой политики
Согласованность состояния между слоями	Значения в репликах/витринах	Рассинхронизация слоев, задержки публикации, конфликт обновлений	Сверка, выравнивание, принудительная синхронизация, повтор публикации

делах заданного временного интервала (окна), либо фиксировать правила обработки опозданий так, чтобы итоговые агрегаты данных оставались интерпретируемыми для анализа и обработки.

Иначе говоря, система метрик и моделей восстановления качества ВПД должна гарантировать, что в заданной точке наблюдения (система хранения и репликации, витрина, API, аналитическая выборка) агрегированные из различных источников данные представлены в согласованном виде, полны, упорядочены и относятся к одному интервалу наблюдения согласно принятой политике времени.

Формирование метрик и моделей оценки качества ВПД требует, чтобы показатели полноты и согласованности были измеримыми и пригодными для принятия управленческих действий.

Управленческая полезность метрик проявляется в том, что по ним можно:

- выявлять пропуски в каналах передачи данных и фиксировать прерывание потоков;
- выявлять и различать ошибки источника и дефекты канала или протокола;
- обнаруживать дублирование или пропуски событий в потоке или агрегированном наборе данных;
- диагностировать рассогласование данных из различных источников или слоев обработки;
- определять необходимость до-загрузки данных из первичного журнала или «отката» системы к предыдущему состоянию;
- запускать корректировку или восстановление недостающих данных по заданному алгоритму или модели.

С учетом изложенного архитектуру системы метрик, критериев, моделей и алгоритмов оценки и восстановления качества ВПД в распределенных системах хранения можно сформировать в виде взаимосвязанного комплекса,

включающего (рис. 3):

- подсистему анализа, оценки и восстановления качества данных на уровне источников и каналов передачи данных (атрибутная и структурная целостность записей в ВПД, валидация временной последовательности данных);

- подсистему анализа, оценки и восстановления качества данных на уровне обработанных и сохраняемых данных из различных источников в заданных границах временного интервала (логическая, межнаборная и доменная согласованность данных, а также структурная согласованность и оценка дублирования данных);

- подсистему анализа, оценки и восстановления качества данных на уровне представлений информации в витринах данных или пользовательских интерфейсов (структурная согласованность, агрегированная интегральная оценка согласованности данных, согласованность по эталонной модели предметной области);

- управляющую интеллектуальную подсистему для дополнения и корректировки метрик оценки и алгоритмов восстановления полноты и согласованности с учетом особенности предметной области, источников и структуры данных, а также опыта эксплуатации системы.

Предложенная структура позволит распределить по уровням вычислительную нагрузку в СХБД и избежать смешения уровней: атрибутные дефекты не подменяются «потерями потока», а временные рассогласования не интерпретируются как логические противоречия.

Также приведен расширенный вариант сводной таблицы, который фиксирует, что именно измеряется, как интерпретируется результат и какие типовые управленческие реакции возможны.

Подводя итог, необходимо отметить, что метрики и архитектура системы контроля и восстановления полноты и согласованности временных потоковых данных в системах хранения больших данных требуют дальнейшего научного анализа и совершенствования. В частности, дополнительного исследования требует оценка влияния на полноту и согласованность временных данных процессов их формирования.

В потоковой СХБД данные проходят последовательность этапов, в результате одно и то же событие может присутствовать в одном уровне обработки, отсутствовать или изменено в другом уровне или подсистеме, либо быть доступным для обработки только для части запросов, но не для всех.

Литература

1. Akkaev, T. Stream Processing with Apache Flink: Fundamentals, Implementation, and Best Practices / T. Akkaev, E. Meyer. – Berlin : Springer, 2020. – 438 p.
2. Batini, C. Data and Information Quality: Dimensions, Principles and Techniques / C. Batini, M. Scannapieco. – Cham : Springer, 2016. – 500 p. – DOI: 10.1007/978-3-319-24106-7.
3. Gray, J. Transaction Processing: Concepts and Techniques / J. Gray, A. Reuter. – San Francisco : Morgan Kaufmann, 1993. – 1070 p.
4. Jensen, C.S. Temporal Data Management / C.S. Jensen, R.T. Snodgrass // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 1999. – Vol. 11. – No. 1. – P. 36–44. – DOI: 10.1109/69.755613.
5. Methodologies for Data Quality Assessment and Improvement [Electronic resource]. – Access mode : <https://dimacs-algorithmic-mdm.wdfiles.com/local-files/start/Methodologies%20for%20Data%20Quality%20Assessment%20and%20Improvement.pdf>.
6. Wang, R.I. Beyond accuracy: What data quality means to data consumers / R.I. Wang, D.M. Strong // Journal of Management Information Systems. – 1996. – Vol. 12. – No. 4. – P. 5–33. – DOI: 10.1080/07421222.1996.11518099.
7. Батура, А.В. Полнота и согласованность данных в информационных системах / А.В. Батура // Интеллектуальный анализ информации: теоретические и прикладные аспекты. – Новосибирск : НГТУ, 2021. – С. 117–125.
9. Лаптев, М.И. Информационные системы и базы данных: принципы проектирования и интеграции / М.И. Лаптев, И.С. Нестеров, В.Ю. Кузнецов. – М. : Академия, 2021. – 368 с.
10. Константинов, Е.С. Обзор интеллектуальных методов и алгоритмов управления большими хранилищами информации / Е.С. Константинов, А.А. Кочетков // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 10(181). – С. 19–23. – EDN: UCZQAE.

11. Константинов, Е.С. Проблемы и вызовы использования технологий искусственного интеллекта в системах управления большими хранилищами информации / Е.С. Константинов, А.А. Кочетков // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2024. – № 11(181)2024. – С. 17–24. – EDN: RADKFA.

References

7. Batura, A.V. Polnota i soglasovannost dannykh v informatsionnykh sistemakh / A.V. Batura // Intellektualnij analiz informatsii: teoreticheskie i prikladnye aspekty. – Novosibirsk : NGTU, 2021. – S. 117–125.

9. Laptev, M.I. Informatsionnye sistemy i bazy dannykh: printsipy proektirovaniya i integratsii / M.I. Laptev, I.S. Nesterov, V.YU. Kuznetsov. – M. : Akademiya, 2021. – 368 s.

10. Konstantinov, E.S. Obzor intellektualnykh metodov i algoritmov upravleniya bolshimi khranilishchami informatsii / E.S. Konstantinov, A.A. Kochetkov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 10(181). – S. 19–23. – EDN: UCZQAE.

11. Konstantinov, E.S. Problemy i vyzovy ispolzovaniya tekhnologij iskusstvennogo intellekta v sistemakh upravlenii bolshimi khranilishchami informatsii / E.S. Konstantinov, A.A. Kochetkov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2024. – № 11(181)2024. – S. 17–24. – EDN: RADKFA.

© Е.С. Константинов, А.А. Кочетков, 2026

РАЗРАБОТКА МЕТОДА УСКОРЕННОГО ПРЕДИКТИВНОГО АНАЛИЗА ФИНАНСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ

С.С. КОРОБКО, З.М. РАХИМКУЛОВ, Е.М. ПОРТНОВ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: предиктивный анализ; математическая статистика; финансовые показатели.

Аннотация: В статье исследуются проблемы создания эффективных и интерпретируемых алгоритмов предиктивного анализа, основанных на математической статистике, для прогнозирования ключевых финансовых метрик предприятия с учетом особенностей временных рядов. Гипотеза исследования состоит в том, что на основе модифицированного скользящего окна для МНК и предварительной декомпозиции с выбором локальных моделей могут быть разработаны алгоритмы, которые обеспечивают сокращение времени работы предиктивного анализа при сохранении или повышении точности расчетов метрик *NSM*, *Revenue* и *Profit*. Разработаны и теоретически описаны два усовершенствованных алгоритма: модифицированное скользящее окно для метода наименьших квадратов и алгоритм предварительной декомпозиции с выбором локальных моделей. Эти алгоритмы призваны сократить время анализа данных при сохранении или повышении точности предсказаний.

Современные предприятия все чаще сталкиваются с необходимостью прогнозирования ключевых финансовых показателей для обеспечения стратегической устойчивости, повышения эффективности деятельности и улучшения финансового планирования [1]. Однако, несмотря на значительные успехи в этой области, остается актуальной проблема ускорения работы алгоритмов предиктивного анализа при сохранении необходимой точности прогнозов. Задача предиктивного анализа финансовых показателей сводится к прогнозированию значений ключевых метрик, таких как *Net Sales Margin (NSM)*, *Revenue* и *Profit*, на основе исторических данных и с использованием инструментов математической статистики [2]. Представим совокупность наблюдений в виде обучающей выборки:

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N,$$

где $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}]$ – вектор факторов (признаков), влияющих на финансовые показатели; y_i – наблюдаемое значение прогнозируемой метрики; N – число наблюдений в обучающей выборке; p – число факторов.

Пусть требуется построить регрессионную модель зависимости прогнозируемой метрики y от факторов x .

Стандартной задачей является оценка параметров регрессионной модели на основе метода наименьших квадратов:

$$y_i = f(x_i, \beta) + \varepsilon_i,$$

где $f(x_i, \beta)$ – функциональная форма регрессионной зависимости; $\beta = [\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p]^T$ – вектор параметров модели; ε_i – случайная ошибка, предполагаемая нормально распределенной с математическим ожиданием 0 и постоянной дисперсией σ^2 . Задача предиктивного анализа заключается в нахождении таких оценок пара-

метров модели $\hat{\beta}$, которые минимизируют функционал ошибки [3]:

$$Q(\beta) = \sum_{i=1}^N (y_i - f(x_i, \beta))^2,$$

где $Q(\beta)$ – функция ошибок (критерий качества модели); $f(x_i, \beta)$ – предсказанное моделью значение для i -го наблюдения.

Однако дополнительно требуется учитывать скорость выполнения алгоритма. Пусть T_{exec} обозначает время выполнения алгоритма оценки параметров β , а τ – минимально допустимый уровень точности прогноза. Тогда задача ускоренного предиктивного анализа финансовых показателей на основе математической статистики может быть сформулирована как $\min_{\beta} Q(\beta)$ при $T_{exec} \leq T_{max}$ и точность $\geq \tau$, где $\min_{\beta} Q(\beta)$ – задача минимизации функционала ошибки; T_{exec} – время выполнения алгоритма; T_{max} – максимально допустимое время выполнения алгоритма; τ – минимально допустимый уровень точности прогноза. Для решения задачи предиктивного анализа финансовых показателей используется метод наименьших квадратов (МНК).

Шаг 1. Обозначение обучающей выборки:

$$D = \{(x_i, y_i)\}_{i=1}^N.$$

Шаг 2. Модель регрессии задается в виде линейной комбинации факторов:

$$\hat{y}_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^p \beta_j x_{ij},$$

где $\hat{y}_i$ – предсказанное значение целевой переменной для i -го наблюдения.

Шаг 3. Матричная форма регрессии. Для удобства записей и вычислений введем матричную форму: $\hat{y} = X\beta$.

Шаг 4. Целевая функция МНК. Метод наименьших квадратов минимизирует сумму квадратов ошибок (остатков):

$$Q(\beta) = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2.$$

В матричной форме сумма квадратов ошибок записывается:

$$Q(\beta) = (y - X\beta)^T (y - X\beta).$$

Шаг 5. Нормальные уравнения. Для нахождения параметров $\hat{\beta}$ необходимо минимизировать $Q(\beta)$.

Шаг 6. Решение нормальных уравнений. После раскрытия скобок получаем нормальные уравнения:

$$X^T X \hat{\beta} = X^T y,$$

где $X^T X$ – матрица Грама размерности $(p+1) \times (p+1)$; $\hat{\beta}$ – вектор оцененных параметров модели:

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} X^T y.$$

При решении задачи предиктивного анализа финансовых показателей важно учитывать ряд ограничений, которые накладываются на модель и данные, а также определить критерии качества, которые позволяют оценить эффективность разработанных алгоритмов. Прежде всего, модель предиктивного анализа требует, чтобы все необходимые факторы x_{ij} были доступны для каждого наблюдения i в обучающей выборке. Формально это условие записывается следующим образом:

$$\forall i \in \{1, 2, \dots, N\}, \forall j \in \{1, 2, \dots, p\} : x_{ij} \in R.$$

Это означает, что отсутствующие значения (пропуски) должны быть устранены или скорректированы до начала обучения модели. Высокая корреляция между факторами может привести к неустойчивости оценок параметров. Для диагностики мультиколлинеарности часто используется определитель матрицы Грама [4; 5]:

$$X^T X : \det(X^T X) \neq 0.$$

Для корректного предсказания временных рядов финансовых показателей необходимо, чтобы данные были стационарными, то есть их статистические свойства не изменялись во времени. В противном случае модель может давать смещенные прогнозы:

$$E[y_t] = \mu = const, Var(y_t) = \sigma^2 = const,$$

где $E[y_t]$ – математическое ожидание целевой переменной; μ – постоянное среднее значение;

$Var(y_t)$ – дисперсия целевой переменной в момент времени t ; σ^2 – постоянная дисперсия.

Для ускорения расчетов и повышения чувствительности модели предложена модификация метода скользящего окна, заключающаяся в следующем:

1) для каждого окна длиной N проводится локальная аппроксимация методом МНК;

2) окно последовательно «скользит» вдоль временного ряда, формируя локальные оценки параметров.

Таким образом, для каждого шага $k \in \{1, 2, \dots, N - W + 1\}$ выделяется локальное окно:

$$\{(t_i, y_i)\}_{i=k}^{(k+W-1)}.$$

Для этого окна строится модифицированная функция потерь:

$$Q^{(k)}(\beta_0^{(k)}, \beta_1^{(k)}) = \sum_{i=k}^{k+W-1} (y_i - \beta_0^{(k)} - \beta_1^{(k)} t_i)^2 \rightarrow \min_{\beta_0^{(k)}, \beta_1^{(k)}}.$$

где $Q^{(k)}$ – функция потерь для окна N ; y_i – наблюдаемое значение в момент времени t_i ; $\beta_0^{(k)}$, $\beta_1^{(k)}$ – параметры регрессии для окна N ; t_i – момент времени; W – размер окна.

Для каждого окна рассчитываются параметры следующим образом.

1. Оценка наклона:

$$\beta_1^{(k)} = \frac{\sum_{i=k}^{k+W-1} (t_i - \bar{t}^{(k)}) (y_i - \bar{y}^{(k)})}{\sum_{i=k}^{k+W-1} (t_i - \bar{t}^{(k)})^2},$$

где $\bar{t}^{(k)} = \frac{1}{W} \sum_{i=k}^{k+W-1} t_i$ – среднее значение времени в окне N ; $\bar{y}^{(k)} = \frac{1}{W} \sum_{i=k}^{k+W-1} y_i$ – среднее значение финансового показателя в окне N .

2. Оценка свободного члена:

$$\beta_0^{(k)} = \bar{y}^{(k)} - \beta_1^{(k)} \bar{t}^{(k)},$$

где $\beta_0^{(k)}$ – оценка свободного члена в окне N ; $\beta_1^{(k)}$ – оценка коэффициента наклона в окне N ; $\bar{t}^{(k)}$ – среднее значение времени в окне N ;

$\bar{y}^{(k)}$ – среднее значение финансового показателя в окне N .

Для оценки точности предсказания в каждом окне используется средняя квадратичная ошибка:

$$MSE^{(k)} = \frac{1}{W} \sum_{i=k}^{k+W-1} \left(y_i - (\beta_0^{(k)} + \beta_1^{(k)} t_i) \right)^2.$$

Основная цель алгоритма предварительной декомпозиции с выбором локальных моделей – повысить точность прогноза и адаптивность модели за счет разделения сложной динамики временного ряда на более простые, локально однородные участки. Пусть наблюдается временной ряд финансового показателя:

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_T \end{pmatrix}.$$

Основная модификация алгоритма заключается в том, что вместо использования единой регрессионной модели для всего временного ряда производится его сегментация на k локальных сегментов:

$$y = \bigcup_{k=1}^K y^{(k)}.$$

Для каждого сегмента формируется матрица признаков:

$$X^{(k)} = \begin{pmatrix} x_{1,1}^{(k)} & x_{1,2}^{(k)} & \cdots & x_{1,p}^{(k)} \\ x_{2,1}^{(k)} & x_{2,2}^{(k)} & \cdots & x_{2,p}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n_k,1}^{(k)} & x_{n_k,2}^{(k)} & \cdots & x_{n_k,p}^{(k)} \end{pmatrix}.$$

Для каждого сегмента строится локальная регрессионная модель методом наименьших квадратов:

$$\hat{\beta}^{(k)} = \left(X^{(k)\top} X^{(k)} \right)^{-1} X^{(k)\top} y^{(k)}.$$

После оценки локальных моделей для каждого сегмента формируется итоговый прогноз:

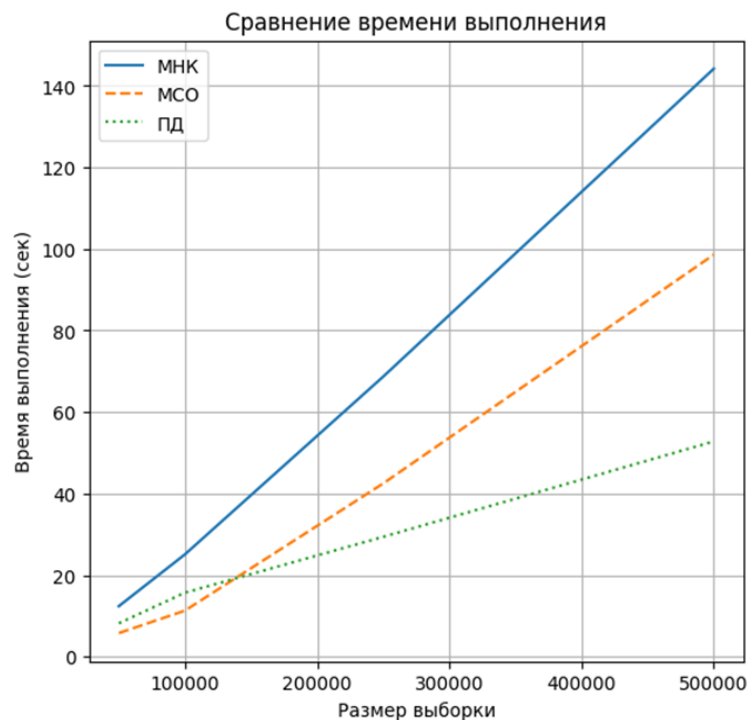


Рис. 1. График зависимости времени выполнения от размера выборки

$$\hat{y} = \bigcup_{k=1}^K \hat{y}_{(k)},$$

где $\hat{y}$ – вектор предсказанных значений для всего временного ряда; $\hat{y}_{(k)} = X^{(k)}\hat{\beta}^{(k)}$ – локальный прогноз для сегмента.

В разработанном алгоритме предварительной декомпозиции мы модифицировали стандартный подход МНК, добавив шаг сегментации: выделяются сегменты временного ряда, внутри которых финансовые показатели подчиняются примерно одинаковым законам; в каждом сегменте строится своя локальная модель МНК, что позволяет точнее уловить локальную динамику; за счет разделения задачи на сегменты и параллельного решения моделей достигается как повышение точности, так и ускорение вычислений.

Для проведения эксперимента была использована временная выборка данных разме-

ром от 50 000 до 500 000 наблюдений с несколькими факторами ($p = 5$). В ходе экспериментов фиксировались параметры алгоритмов: размер скользящего окна для модифицированного МНК (например, $w = 1000$), число сегментов и длина локальных моделей для алгоритма предварительной декомпозиции. Эксперименты проводились с разным размером выборки и изменением параметров алгоритмов, чтобы оценить их влияние на производительность. На рис. 1 представлен график зависимости времени выполнения от размера выборки.

На этом графике явно видно преимущество разработанных алгоритмов: модифицированное скользящее окно (МСО) для метода наименьших квадратов и алгоритм предварительной декомпозиции (ПД) с выбором локальных моделей по сравнению с классическим МНК, особенно при больших объемах данных.

Литература

1. Гончар, А.А. Использование предиктивной аналитики для повышения эффективности бизнеса / А.А. Гончар // Актуальные исследования. – 2023. – № 50(180). – С. 22–46. – EDN: KNTPIY.
2. Ванина, М.Ф. Скоринг как инновационный инструмент маркетинга / М.Ф. Ванина, А.Г. Ерохин, Е.А. Фролова // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. –

2023. – Т. 14. – № 2. – С. 4–12. – EDN: RSSHRX.

3. Васильев, В.И. Обеспечение информационной безопасности киберфизических объектов на основе прогнозирования и обнаружения аномалий их состояния / В.И. Васильев, А.М. Вульфин, В.Е. Гвоздев, В.М. Картак, Е.А. Атарская // Системы управления, связи и безопасности. – 2021. – № 6. – С. 90–119. – DOI: 10.24412/2410-9916-2021-6-90-119. – EDN: TDDYFH.

4. Колесников, И.Н. Проактивный мониторинг событий на основе предиктивного анализа временных рядов / И.Н. Колесников, А.Г. Финогеев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2020. – № 1. – С. 111–125. – DOI: 10.21685/2227-8486-2020-1-9. – EDN: XGPJLA.

5. Яковлева, М.В. Алгоритм принятия решений о внедрении предиктивного обслуживания оборудования на высокотехнологичных предприятиях / М.В. Яковлева, А.И. Шалина // Вопросы инновационной экономики. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 159–172. – DOI: 10.18334/vinec.13.1.117426. – EDN: MUQTUK.

References

1. Gonchar, A.A. Ispolzovanie prediktivnoj analitiki dlya povysheniya effektivnosti biznesa / A.A. Gonchar // Aktualnye issledovaniya. – 2023. – № 50(180). – С. 22–46. – EDN: KNTPIY.

2. Vanina, M.F. Skoring kak innovatsionnij instrument marketinga / M.F. Vanina, A.G. Erokhin, E.A. Frolova // Sistemy sinkhronizatsii, formirovaniya i obrabotki signalov. – 2023. – Т. 14. – № 2. – С. 4–12. – EDN: RSSHRX.

3. Vasilev, V.I. Obespechenie informatsionnoj bezopasnosti kiberfizicheskikh obektov na osnove prognozirovaniya i obnaruzheniya anomalij ikh sostoyaniya / V.I. Vasilev, A.M. Vulfin, V.E. Gvozdev, V.M. Kartak, E.A. Atarskaya // Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. – 2021. – № 6. – С. 90–119. – DOI: 10.24412/2410-9916-2021-6-90-119. – EDN: TDDYFH.

4. Kolesnikov, I.N. Proaktivnij monitoring sobytij na osnove prediktivnogo analiza vremennykh ryadov / I.N. Kolesnikov, A.G. Finogeev // Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve. – 2020. – № 1. – С. 111–125. – DOI: 10.21685/2227-8486-2020-1-9. – EDN: XGPJLA.

5. YAKovleva, M.V. Algoritm prinyatiya reshenij o vnedrenii prediktivnogo obsluzhivaniya oborudovaniya na vysokotekhnologichnykh predpriyatiyakh / M.V. YAKovleva, A.I. SHalina // Voprosy innovatsionnoj ekonomiki. – 2023. – Т. 13. – № 1. – С. 159–172. – DOI: 10.18334/vinec.13.1.117426. – EDN: MUQTUK.

© С.С. Коробко, З.М. Рахимкулов, Е.М. Портнов, 2026

ИНТЕГРАЦИЯ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ И ВЕРИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ ДОСТУПОМ: ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.В. КУПРИЯНОВ, Н.В. ЕФАНОВА

*ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»,
г. Краснодар*

Ключевые слова и фразы: транспортные средства; идентификация; верификация; управление доступом; оптимизация; промышленные предприятия.

Аннотация: Интеграция методов идентификации и верификации транспортных средств в систему управления доступом становится для промышленных предприятий не просто технологическим улучшением, а необходимым условием повышения управляемости и безопасности. На крупных объектах ежедневно фиксируется значительный поток грузового и служебного транспорта, и ручная проверка данных на КПП приводит к задержкам, ошибкам и дополнительной нагрузке на персонал. Автоматизированная система распознавания номерных знаков, сверки разрешений и подтверждения параметров въезда позволяет сократить время прохождения контроля, исключить дублирование операций и снизить риск несанкционированного доступа. Кроме того, объединение идентификации и верификации в единую логику работы системы управления доступом обеспечивает более точный учет транспортных потоков, повышает прозрачность логистики и упрощает расследование инцидентов.

Цель статьи – проанализировать пути оптимизации процессов идентификации и верификации транспортных средств в системе управления доступом на промышленные предприятия.

Практическая значимость исследования заключается том, что изучение эффективных методов идентификации и верификации транспортных средств для промышленных предприятий способствует оптимизации процессов, снижению операционных затрат и формированию устойчивой системы контроля доступа, адаптированной к современным производственным задачам.

В условиях роста транспортных потоков и ужесточения требований к безопасности промышленные предприятия нуждаются в надежных решениях для контроля въезда и выезда автотранспорта. Традиционные пропускные системы часто не обеспечивают достаточной скорости обработки данных и требуют значительного участия персонала, что приводит к задержкам, ошибкам и рискам несанкционированного доступа. В современных условиях эффективное решение такой комплексной задачи не представляется возможным без использования цифровой среды [3].

В рамках данной работы были проанализированы различные методологические подходы

к идентификации и верификации транспортных средств, что позволило определить пути оптимизации управления процессами доступа для промышленных предприятий. Проведен анализ отечественных и зарубежных публикаций, включая научные статьи, монографии, посвященных теме исследования.

Автоматизация пропуска транспортных средств на территорию предприятия является серьезной проблемой, для решения которой применяются различные методы, например, установка датчиков обнаружения движения. Но зачастую необходимо не просто пропустить машину на территорию, а распознать номер въезжающего транспортного средства [4].



Рис. 1. Декомпозиция бизнес-процессов идентификации и верификации транспортных средств на промышленном предприятии

На практике применяются несколько методов, различающихся по стоимости, надежности и требованиям к инфраструктуре. Наиболее распространены алгоритмы распознавания номерных знаков, основанные на методах компьютерного зрения и машинного обучения [2], *RFID*-идентификация по радиометкам, а также биометрически или криптографически защищенные пропуска для автомобилей специального назначения. В структуру *RFID* входят: программное приложение, метка и считывающее устройство [9]. Видеоаналитика представляет собой направление, связанное с компьютеризированной обработкой и автоматическим анализом видеоконтента *VCA* (*Video Content Analysis*), который поступает на видеосервер с видеокамер, переносных устройств или из сети Интернет через веб-камеры [7]. В промышленной сфере *RFID* способствует автоматизации процессов управления, позволяя осуществлять точную маркировку и отслеживание материалов и оборудования [1]. *RFID* отличается стабильностью работы и высокой скоростью, но требу-

ет оснащения транспорта метками и контроля их защищенности. Смешанные схемы, где распознавание номера дополняется считыванием метки или проверкой данных в базе, дают наилучший баланс между точностью, устойчивостью к подмене и удобством эксплуатации.

Процессно-ориентированный подход, по сути, является тем трендом, который диктует векторы развития. Фундаментом данного подхода к управлению выступает идентификация бизнес-процессов. В условиях промышленного объекта верификация транспортных средств должна обеспечивать не только подтверждение права въезда, но и непрерывный контроль соответствия машины заявленным данным. На практике применяются несколько подходов. Наиболее распространенный – сопоставление номера автомобиля, распознанного системой видеоаналитики, с записью в базе пропусков, где учитываются маршрут, временное окно, тип груза и допуск на конкретную зону.

Можно сказать, что бизнес-процесс пред-

ставляет собой последовательность строго регламентированных действий, имеющих своей целью достижение определенного результата за счет производства, модификаций транспортно-логистического продукта или услуги при условии использования определенного объема ресурсов [8]. Для повышения надежности идентификации и верификации транспортных средств на промышленном предприятии используется многоканальная верификация: данные камер дополняются считыванием *RFID*-меток, *QR*-кодов, информацией от шлагбаумов и весовых комплексов. Усовершенствовать процесс допуска транспортных средств можно за счет применения систем интеллектуальной видеоаналитики [6]. Это снижает риск прохода по поддельным или переоформленным пропускам. Цифровизация промышленной сферы является частью цифровой трансформации экономики страны [5], поэтому важным направлением является автоматическая сверка с нормативными ограничениями, включая тип кузова, осевую нагрузку и наличие разрешений на перевозку опасных грузов. Такой комплексный подход позволяет сократить время досмотра, уменьшить влияние человеческого фактора и повысить уровень защищенности периметра без снижения пропускной способности КПП.

Алгоритм решения повышения эффективности системы идентификации и верификации представлен ниже.

Шаг 1. Проектирование архитектуры сбора данных (*Data Ingestion*).

Необходимо создать единый слой абстракции для всех устройств.

Интеграция по протоколам:

Камеры: *RTSP/ONVIF* + *API* видеоаналитики.

RFID/QR: *MQTT* или *HTTP Webhooks*.

Шлагбаумы/Весы: *Modbus TCP* или специализированные драйверы производителей.

Синхронизация времени: все устройства должны быть синхронизированы по протоколу *NTP* для корректного сопоставления временных меток (*t*).

Шаг 2. Реализация модуля нормализации и корреляция.

Данные от разных систем приходят в разном формате.

Нужно привести их к единому объекту события:

- создание структуры данных:

$$Event = \{ID, Type, Timestamp, Value, Confidence\}, \quad (1)$$

– корреляция: группировка события по временному окну Δt (например, $\Delta t = 5$ секунд). Если событие «Вес» и событие «Распознавание номера» произошли в интервале Δt , они считаются относящимися к одному объекту.

Шаг 3. Логика многоканальной верификации (*Decision Engine*). Это центр системы. Представим алгоритм проверки.

1. Первичная идентификация: получение номера ТС по камере.

2. Вторичная проверка: запрос данных от *RFID*.

Если $ID_{camera} = ID_{rfid}$, верификация пройдена (уровень доверия 100 %).

Если $ID_{camera} \neq ID_{rfid}$, отправляется сообщение оператору (возможна подмена номера).

3. Контроль целостности веса:

– сравнение полученной массы M_{actual} с эталонной массой M_{base} из базы данных для данного ТС.

– условие проезда:

$$M_{actual} - M_{base} < \varepsilon, \quad (2)$$

где ε – допустимая погрешность.

4. Контроль проезда: шлагбаум открывается только при условии:

$$Result_{verification} = TRUE \text{ AND } Weight_{check} = TRUE, \quad (3)$$

Шаг 4. Обработка исключений и логирование.

Разработка системы управления ошибками:

– *Fallback*-сценарий: если камера не распознала номер (низкий *Confidence*), система запрашивает данные с *RFID* или *QR*-кода как приоритетные;

– логирование: все транзакции записываются в базу данных (например, *PostgreSQL*) с привязкой к видеофрагменту, чтобы обеспечить возможность аудита.

Схема принятия решения (псевдокод)

```
def verify_vehicle(data_stream):
    1. Сбор данных
    number = get_plate_number(data_stream.camera)
    rfid_id = get_rfid_tag(data_stream.rfid)
```

```
weight = get_weight(data_stream.scales)
```

2. Верификация

```
if match(number, rfid_id) and validate_weight(weight):
```

```
    open_barrier(data_stream.gate)
```

```
    log_success(number, weight)
```

```
else:
```

```
    trigger_alarm("Несоответствие данных")
```

```
    keep_barrier_closed()
```

Рекомендации по безопасности:

- защита от спуфинга: использование динамических *QR*-кодов (меняющихся во времени) для предотвращения копирования;

- шифрование: все данные от *RFID*-меток должны передаваться в зашифрованном виде, чтобы исключить клонирование меток;

- отказоустойчивость: система должна работать локально (*Edge Computing*), чтобы при обрыве интернет-соединения шлагбаум продолжал функционировать на основе локальной базы разрешенных меток.

Интеграция современных методов идентификации и верификации транспортных средств в единую информационную систему управления доступом представляет собой эффективное решение для повышения операционной эффективности и безопасности промышленных предприятий. Такой подход позволяет оптимизировать логистические потоки, сократить операционные издержки и усилить контроль над доступом на территорию предприятия. Дальнейшее развитие и внедрение подобных систем является перспективным направлением для современного промышленного сектора.

Литература

1. Гаврилов, Е.В. Обзор системы радиочастотной идентификации (RFID): анализ технологических решений и областей применения / Е.В. Гаврилов // *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* – 2024. – № 4(121) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://universum.com/ru/tech/archive/item/17316>.

2. Елифанов, В.А. Эффективный алгоритм идентификации транспортных средств в системах видеонаблюдения / В.А. Елифанов, И.О. Темкин, С.Е. Красноярский // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2023. – № 6. – С. 5–18. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_5. – EDN: QEZDOD.

3. Зиновьева, О.М. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле / О.М. Зиновьева, Д.С. Кузнецов, А.М. Меркулова, Н.А. Смирнова // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2021. – № 2-1. – С. 113–123. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123. – EDN: YMEUSL.

4. Истратова, Е.Е. Разработка и исследование программного модуля для контроля и управления доступом транспортных средств на основе распознавания автомобильных номеров / Е.Е. Истратова, А.И. Гостеева // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2022. – № 3. – С. 30–37. – EDN: FKAJUB.

5. Кобзев, В.В. Цифровая трансформация промышленных предприятий в условиях новой реальности / В.В. Кобзев, А.В. Бабкин, А.С. Скоробогатов // *π-Economy*. – 2022. – Т. 15. – № 5. – С. 7–27. – DOI: 10.18721/JE.15501. – EDN: NUNQPQ.

6. Колоденкова, А.Е. Автоматизация процесса контроля и управления доступом транспортных средств на территорию образовательной организации / А.Е. Колоденкова // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. – 2025. – № 2. – С. 28–34. – DOI: 10.46973/0201-727X_2025_2_28. – EDN: JIUCFN.

7. Могилин, К.А. Интеллектуальные системы видеонаблюдения в комплексах безопасности / К.А. Могилин, В.А. Селищев // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2020. – № 3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-sistemyvideonablyudeniya-v-kompleksah-bezopasnosti>. – EDN: KPBHNP.

8. Пинчук, С.С. Методические подходы к оценке эффективности трансформации процессов транспортной компании / С.С. Пинчук // *Транспортное дело России*. – 2022. – № 2. – С. 137–140. – DOI: 10.52375/20728689_2022_2_137. – EDN: OGQJKQ.

9. Романовская, Е.В. Отечественный и зарубежный опыт применения инжиниринга / Е.В. Романовская, Н.С. Андрияшина, Е.С. Назаркина, Д.П. Ватлецов // *Московский экономический жур-*

References

1. Gavrilov, E.V. Obzor sistemy radiochastotnoj identifikatsii (RFID): analiz tekhnologicheskikh reshenij i oblastej primeneniya / E.V. Gavrilov // *Universum: tekhnicheskie nauki: elektron. nauchn. zhurn.* – 2024. – № 4(121) [Electronic resource]. – Access mode : <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/17316>.
2. Epifanov, V.A. Effektivnij algoritm identifikatsii transportnykh sredstv v sistemakh videonablyudeniya / V.A. Epifanov, I.O. Temkin, S.E. Krasnoyarskiy // *Gornij informatsionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)*. – 2023. – № 6. – S. 5–18. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_6_0_5. – EDN: QEZDOD.
3. Zinoveva, O.M. TSifrovizatsiya sistem upravleniya promyshlennoj bezopasnostyu v gornom dele / O.M. Zinoveva, D.S. Kuznetsov, A.M. Merkulova, N.A. Smirnova // *Gornij informatsionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)*. – 2021. – № 2-1. – S. 113–123. – DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-113-123. – EDN: YMEUSL.
4. Istratova, E.E. Razrabotka i issledovanie programmogo modulya dlya kontrolya i upravleniya dostupom transportnykh sredstv na osnove raspoznavaniya avtomobilnykh numerov / E.E. Istratova, A.I. Gosteeva // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2022. – № 3. – S. 30–37. – EDN: FKAJUB.
5. Kobzev, V.V. TSifrovaya transformatsiya promyshlennykh predpriyatij v usloviyakh novej realnosti / V.V. Kobzev, A.V. Babkin, A.S. Skorobogatov // *π-Economy*. – 2022. – T. 15. – № 5. – S. 7–27. – DOI: 10.18721/JE.15501. – EDN: NUNQPQ.
6. Kolodenkova, A.E. Avtomatizatsiya protsessa kontrolya i upravleniya dostupom transportnykh sredstv na territoriyu obrazovatelnoj organizatsii / A.E. Kolodenkova // *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya*. – 2025. – № 2. – S. 28–34. – DOI: 10.46973/0201-727X_2025_2_28. – EDN: JIUCFN.
7. Mogilin, K.A. Intellektualnye sistemy videonablyudeniya v kompleksakh bezopasnosti / K.A. Mogilin, V.A. Selishchev // *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. – 2020. – № 3 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnye-sistemyvideonablyudeniya-v-kompleksah-bezopasnosti>. – EDN: KPBHQP.
8. Pinchuk, S.S. Metodicheskie podkhody k otsenke effektivnosti transformatsii protsessov transportnoj kompanii / S.S. Pinchuk // *Transportnoe delo Rossii*. – 2022. – № 2. – S. 137–140. – DOI: 10.52375/20728689_2022_2_137. – EDN: OGQJKQ.
9. Romanovskaya, E.V. Otechestvennij i zarubezhnij opyt primeneniya inzhiniringa / E.V. Romanovskaya, N.S. Andryashina, E.S. Nazarkina, D.P. Vatletsov // *Moskovskij ekonomicheskij zhurnal*. – 2021. – № 7. – DOI: 10.24411/2413-046X-2021-10436. – EDN: NGUHNQ.

© В.В. Куприянов, Н.В. Ефанова, 2026

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТА ПО ТЕКСТОВОМУ ОПИСАНИЮ

Л.В. КУРИЛОВА, И.С. КОРНЕВА, Е.Г. ДОРОГОВА

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: математическая модель; многокритериальная оптимизация; текстовое описание; экспертные оценки.

Аннотация: В статье исследуются вопросы улучшения достоверности поиска путем выделения характеристик товаров из их текстового описания. Целью работы является улучшение достоверности поиска путем выделения характеристик товаров из их текстового описания. Задачи исследования: аналитический обзор современных методов и средств определения характеристик объекта по текстовому описанию; формализация задачи определения характеристик объекта по текстовому описанию; разработка методики определения характеристик объекта по текстовому описанию. Гипотеза исследования состоит в том, что для повышения достоверности поиска целесообразно использовать *bagging*-ансамбль из *BiLSTM-CRF*. Использование двух разнонаправленных слоев *LSTM* применяется для учета всего контекста в обоих направлениях, что исправляет недостаток *LSTM* с пониманием контекста только в одном направлении. В результате экспериментального исследования предложенный в разработанной методике ансамбль *BiLSTM-CRF* в среднем на 13 % достовернее определяет характеристики объекта по сравнению с большинством методов. Несмотря на небольшое отставание от *BERT* по результатам сравнения значений *F1*-мер, ансамбль *BiLSTM-CRF* обладает скоростью ответа, в 9 раз превышающей скорость ответа *BERT*.

Поиск является комплексным процессом, включающим в себя множество различных этапов. Одним из важнейших среди них является индексация, собирающая данные для последующего эффективного получения результатов поиска.

В рамках индексации происходит сбор характеристик товара, благодаря чему достигается более точное соответствие поисковой выдачи запросу пользователя. Однако характеристики достаточно трудоемки для ручного заполнения, из-за чего зачастую их набор оказывается неполон. Поскольку большинство товаров обладают обширным текстовым описанием, предлагается составлять характеристики товара на основе текстового описания.

Извлечение характеристик товара имеет ряд сложностей, которые необходимо учитывать при разработке: разнообразие товаров и разнообразие их описаний; обширное количе-

ство характеристик, набор которых отличается для различных объектов; сложность различения значимых и незначимых слов в описании на естественном языке.

В связи с вышеизложенным актуальной проблемой является недостаточное соответствие поисковой выдачи интернет-магазинов запросу пользователя.

Пусть имеется множество X' – множество истинных характеристик для текстового описания T и списка названий и свойств характеристик C . Рассмотрим различные метрики, позволяющие оценить достоверность выбора характеристик X на основе сравнения с множеством X' . Достоверность определенных по текстовому описанию характеристик можно охарактеризовать тройко: $R(T, C, X) \in [0, 1]$ – коэффициент полноты, характеризующий насколько полно полученная информация описывает объект; $Q(T, C, X) \in [0, 1]$ – коэффициент

информативности, показывающий, насколько каждая характеристика информативно описывает объект; $B(T, C, X) \in [0, 1]$ – коэффициент шума, характеризующий концентрацию элементов множества характеристик, не вносящих вклад в описание объекта.

Опишем задачу определения характеристик объекта по текстовому описанию в виде многокритериальной оптимизации [1; 2]:

$$R(T, C, X) \rightarrow \max, \quad (1)$$

$$Q(T, C, X) \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$F(T, C, X) = R(T, C, X) \cdot Q(T, C, X) \cdot (1 - B(T, C, X)) \rightarrow \max. \quad (5)$$

Коэффициенты $R(T, C, X)$, $Q(T, C, X)$ и $B(T, C, X)$ определяются с помощью экспертной оценки, так как ни один формальный критерий не может определить достоверность определенных по текстовому описанию характеристик. Для оценки значения $Q(T, C, X)$ предлагается использовать метод непосредственной экспертной оценки. Для каждого $x_i \in X$ каждый из E экспертов должен выбрать оценку $K^j(x_i) \in [1, 3]$, где $[1, 3] \subset \mathbb{Z}$, $j \in [1, E] \subset \mathbb{Z}$. Баллы из шкалы интерпретируются следующим образом [4]: x_i не предоставляет информации, характеризующей объект; x_i предоставляет информацию, являющуюся обобщенной и характеризующую объект частично; x_i предоставляет информацию, которая позволяет классифицировать объект.

На основании вышесказанного коэффициент $Q(T, C, X)$ определяется следующим образом:

$$Q(T, C, X) = \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E \frac{(\sum_{i=1}^{|X|} K^j(x_i)) - 1}{2 \cdot |X|}, \quad (6)$$

где K – количество экспертов; X – множество характеристик объекта; $x_i \in X$ – i -я характеристика объекта; $K^j(x_i)$ – оценка информативности характеристики x_i экспертом $j \in [1, E]$.

Коэффициент $R(T, C, X)$ предлагается также определять с помощью метода непосредственной экспертной оценки. Каждый эксперт должен выбрать оценку $R^j(T, C, X) \in [0, 5] \subset \mathbb{Z}$, $j \in [1, E] \subset \mathbb{Z}$. Баллы из шкалы интерпретируются следующим образом: 0 – множество X не содержит информации

$$B(T, C, X) \rightarrow \min. \quad (3)$$

Поскольку коэффициент B минимизируется в данной задаче, то изменим направление оптимизации. Для этого введем величину $1 - B(T, C, X)$, которая будет максимизироваться:

$$1 - B(T, C, X) \rightarrow \max. \quad (4)$$

Проведем скаляризацию многокритериальной задачи оценки достоверности с помощью произведения:

об объекте, которому принадлежит текстовое описание T ; 1 – множество X содержит общую информацию об объекте, позволяющую отделить данный объект от кардинально отличающихся по крупным категориям; 2 – X содержит достаточно информации, чтобы отнести данный объект к подобным ему; 3 – X содержит достаточно информации, чтобы его можно было сравнить с ему подобными; 4 – X достаточно полно описывает объект, в том числе содержит информацию, позволяющую уникально охарактеризовать объект среди остальных, но не имеет несколько мелких деталей, присутствующих в текстовом описании T ; 5 – X настолько же полно описывает объект, насколько полно его описывает текстовое описание T .

Формула для вычисления $R(T, C, X)$ представляется в следующем виде:

$$R(T, C, X) = \frac{1}{E} \sum_{j=1}^E \frac{R^j(T, C, X)}{5}, \quad (7)$$

где $R^j(T, C, X)$ – оценка полноты множества характеристик X по отношению к текстовому описанию T экспертом $j \in [1, E]$.

Коэффициент $B(T, C, X)$ предлагается определять по следующей формуле:

$$B(T, C, X) = \frac{|W|}{|X|}, \quad (8)$$

где X – множество характеристик объекта, полученных из его текстового описания; W – множество полученных из текстового описания

характеристик, не вносящих вклад в описание объекта. Для определения множества W предлагается использовать оценки $K^j(x_i)$, полученные при оценке критерия информативности $Q(T, C, X)$. Множество W^j , являющееся множеством полученных из текстового описания характеристик, не вносящих вклад в описание объекта, отобранных на основании оценок эксперта j , определяется таким образом:

$$W^j = \{x \in X | K^j(x) = 1\}. \quad (9)$$

Введем для каждой характеристики x_i величину $V(x_i)$ – количество экспертов, давших x_i оценку 1. Она вычисляется следующим способом:

$$V(x_i) = \sum_{j=1}^E V^j(x_i), \quad (10)$$

где $V^e(x_i) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_i \notin W^j, \\ 1, & \text{если } x_i \in W^j. \end{cases}$

Тогда множество W определяется следующим образом:

$$W = \left\{x \in X \mid V(x) > \frac{E}{2}\right\}. \quad (11)$$

Экспертные оценки позволяют точно определить достоверность определенных по текстовому описанию характеристик. Однако экспертные оценки сложны в получении, поскольку необходимо отобрать экспертов, способных объективно оценить составленные коэффициенты. В связи с этим для формализации

задачи определения характеристик объекта по текстовому описанию предлагается перейти к выражению коэффициентов R , Q и B через подсчет количества пересечений сущностей. Сущность определяется как непрерывная последовательность токенов, отнесенных к одному классу.

Пусть e – это сущность, а t – токен. Тогда для нее применяются следующие понятия: $start(e)$ – номер токена t , с которого начинается сущность e ; $length(e)$ – количество токенов t , составляющих сущность e ; $type(e)$ – тип сущности e ; $span(e)$ – множество токенов t , составляющих сущность e ; $overlap(e, e')$ – доля пересечения сущностей e и e' .

$$span(e) = \{t_i \mid start(e) \leq i < start(e) + length(e)\}, \quad (12)$$

$$overlap(e, e') = \frac{|span(e) \cap span(e')|}{|span(e) \cup span(e')|}. \quad (13)$$

Пусть множество C названий и свойств характеристик объекта, содержащее L элементов, представляется в следующем виде:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_L\}. \quad (14)$$

Множества E_i отобранных сущностей, относящихся к типу i , и E'_i истинных сущностей, относящихся к типу i , выражаются таким образом:

$$E_i = \{e \in X \mid type(e) = c_i\}, \quad (15)$$

$$E'_i = \{e' \in X' \mid type(e') = c_i\}. \quad (16)$$

Тогда коэффициенты полноты R и шума B представимы в виде:

$$R(X, C, X') = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{|E'_i|} \sum_{k=1}^{|E_i|} overlap(e_{ik}, e'_{ij})}{|X'|}, \quad (17)$$

$$B(X, C, X') = \frac{\sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^{|E_i|} \sum_{j=1}^{|E'_i|} \left((1 - overlap(e_{ik}, e'_{ij})) \cdot overlap(e_{ik}, e'_{ij}) \right)}{|X|}. \quad (18)$$

Поскольку коэффициент информативности Q показывает, насколько каждая характеристика информативно описывает объект, определить его без использования экспертной оценки

не представляется возможным. В связи с этим целевая функция (5) приобретает следующий упрощенный вид:

Таблица 1. Результаты проведенных экспериментальных исследований

Метод \ Метрика	F1-мера, %	Скорость ответа, количество меток/с
Случайный лес	65	6000
<i>LSTM</i>	70	2000
<i>CRF</i>	73	3500
<i>BERT</i>	86	150
Ансамбль <i>BiLSTM-CRF</i>	83	1350

$$F(X, C, X') = R(X, C, X') \cdot (1 - B(X, C, X')) \rightarrow \max. \quad (19)$$

Таким образом, получена целевая функция $F(X, C, X')$, основанная на коэффициентах $R(X, C, X')$ и $B(X, C, X')$, нахождение максимума которой является решением задачи определения характеристик объекта по текстовому описанию. Для решения формализованной задачи решено использовать методы *LSTM* и *CRF*, а конкретнее *bagging*-ансамбль из *BiLSTM-CRF*. Использование двух разнонаправленных слоев *LSTM* применяется для учета всего контекста в обоих направлениях, что исправляет недостаток *LSTM* с пониманием контекста только в одном направлении. Слой *BiLSTM* в модели используется для дополнения векторных представлений слов семантической информацией об окружающем контексте. Дополнение векторных представлений семантической информацией позволяет нивелировать недостаток *CRF*, заключающийся в необходимости ручного составления признаков для модели. Ансамблевое обучение выбрано вместо обучения одной модели

для большей точности на малом количестве данных и для уменьшения риска переобучения.

Результаты проведенных экспериментальных исследований представлены в табл. 1.

Для сравнения выбраны, помимо предлагаемого в разработанной методике *bagging*-ансамбля из *BiLSTM-CRF*, методы, рассмотренные ранее. В качестве метрик для сравнения выбраны макро *F1*-мера, а также скорость ответа модели, выраженная в количестве меток, предсказанных для токенов, в секунду. Таким образом, основываясь на результатах экспериментальных исследований, предложенный в разработанной методике ансамбль из *BiLSTM-CRF* в среднем на 13 % достовернее определяет характеристики объекта по текстовому описанию, чем большинство методов. Несмотря на небольшое отставание от *BERT* по результатам измерений *F1*-меры, *BiLSTM-CRF* обладает скоростью ответа, в 9 раз превышающей скорость ответа *BERT*.

Литература

1. Samanta B. Entropy based multi-objective crop production problem under fuzzy environment / B. Samanta // Fuzzy Systems and Soft Computing. – 2023. – Т. 18. – No. 1. – P. 128–143. – DOI: 10.26456/fssc104. – EDN: SDOVQQ.
2. Klimenko, I.S. Modeling of information security systems based on mul-ticriteria optimization algorithms / I.S. Klimenko // Modern Science and Innovations. – 2023. – No. 1(41). – P. 8–14. – DOI: 10.37493/2307-910X.2023.1.1. – EDN: JQBVXE.
3. Devlin, J. Bert: Pre-training of deep bidirectional transformers for lan-guage understanding / J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, K. Toutanova // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Tech-nologies, Volume 1 (Long and Short Papers). – 2019. – P. 4171–4186. – DOI: 10.18653/v1/N19-1423.
4. Athavale V. et al. Towards Deep Learning in Hindi NER: An approach to tackle the Labelled Data Sparsity / V. Athavale, S. Bharadwaj, M. Pamecha, A. Prabhu, M. Shrivastava // ICON-2016, Proceedings of the 13th International Conference on Natural Language Processing, ACLAt. – Varanasi,

India. – 2016. – Vol. 13. – DOI: 10.48550/arXiv.1610.09756.

5. Евстифеев, А.А. Работа с большими текстовыми данными на языке Java. Вопросы, ограничения, варианты решения / А.А. Евстифеев, Г.Е. Красиков // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 4(187). – С. 54–60. EDN: JNQTBM.

References

5. Evstifeev, A.A. Rabota s bolshimi tekstovymi dannymi na yazyke Java. Voprosy, ogranicheniya, varianty resheniya / A.A. Evstifeev, G.E. Krasikov // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 4(187). – S. 54–60. EDN: JNQTBM.

© Л.В. Курилова, И.С. Корнева, Е.Г. Дорогова, 2026

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СХЕМ

А.В. ЛОБАНОВ, М.Д. ПЫСИН, Э.М. КОЛЬЦОВА, А.М. АРХИПОВ

ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: САПР; цифровое моделирование; облачная архитектура; микросервисный подход; веб-интерфейс; *REST API*; химико-технологическое проектирование.

Аннотация: Переход к веб-ориентированным системам автоматизированного проектирования в химической отрасли обуславливает важность создания распределенных инфраструктур для надежной и масштабируемой передачи данных между компонентами САПР. Цель исследования – спроектировать и реализовать распределенную экосистему обмена информацией для веб-приложения конструирования химико-технологических схем с их автоматической конвертацией в трехмерные модели. Решены задачи перехода от десктопной архитектуры к микросервисной, интеграции графического ядра на базе *Unity WebGL* с веб-интерфейсом, а также разработки схемы реляционной базы данных для централизованного хранения проектов и библиотеки оборудования. Для достижения цели использованы методы проектирования распределенных систем, *REST API*-ориентированного бэкенда на *Flask* и клиент-серверного взаимодействия через унифицированный *JSON*-формат. В результате предложена трехуровневая архитектура, включающая сервер-супервизор, хранилище *PostgreSQL* и фронтенд на *React*, обеспечивающая сохранение функциональности графического модуля при компиляции в *WebAssembly* и гарантирующая взаимозаменяемость форматов с десктопной версией продукта. Показано, что предложенная экосистема снижает порог входа для пользователей за счет облачного доступа, а также обеспечивает гибкость масштабирования и поддержку коллективной работы над проектами. Разработанные архитектурные решения инвариантны к типу химико-технологического производства и переносимы на другие предметные области, использующие веб-визуализацию технологических схем.

В условиях стремительной цифровизации промышленности инструменты автоматизированного проектирования (САПР) становятся критически важными для обеспечения конкурентоспособности предприятий. Особую актуальность приобретает создание цифровых копий химических производств – моделей высокого уровня детализации, дающих возможность прогнозировать развитие процессов и оптимизировать эксплуатационные параметры [1; 2]. В связи с геополитическими изменениями и уходом зарубежных вендоров с российского рынка возникает острая необходимость в создании собственного программного обеспечения, которое могло бы успешно заместить

зарубежные аналоги в промышленной эксплуатации.

Существенным трендом в эволюции САПР сегодня становится отказ от локально устанавливаемых программных комплексов в пользу браузерных решений, которые делают проектный инструментальный доступным с любого устройства, подключенного к сети, и снимают вопросы лицензирования и сопровождения. Однако платой за такое удобство становится усложнение архитектуры, в которой критически важным звеном оказывается надежная система передачи информации. Проект «АСМ-3D. Веб» направлен на разработку веб-платформы, позволяющей проектировать двухмерные технологи-

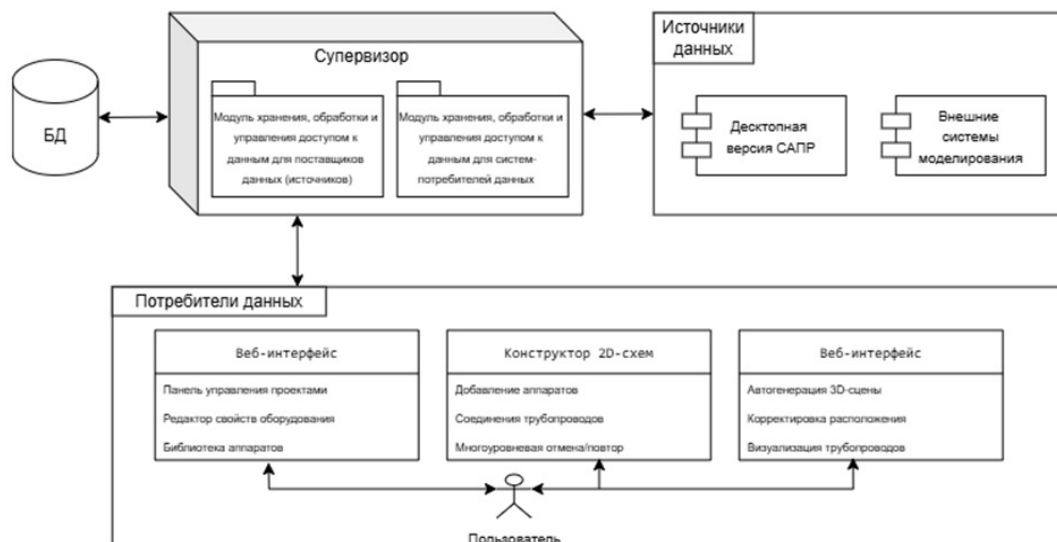


Рис. 1. Принципиальная структура экосистемы передачи данных

ческие схемы и автоматически преобразовывать их в трехмерные модели.

Изначальная версия «АСМ-3D» создавалась как десктопное решение на C# с применением *Unity* и *WinForms*, при этом обмен данными между модулями обеспечивал локальный TCP-сервер [3; 4]. Такая архитектура, показавшая свою эффективность для офлайн-работы, обладает рядом недостатков для масштабирования и развертывания: она жестко привязана к операционной системе, требует установки на каждое рабочее место и усложняет организацию коллективной работы над проектами.

Следующим логическим шагом стала разработка облачного веб-приложения. Для этого потребовалось переосмыслить архитектуру системы и, в частности, способ передачи данных между ее компонентами. В качестве основного подхода была рассмотрена концепция распределенной системы. В таких системах множество автономных компонентов обмениваются данными для достижения общей цели. Изучение двух основных архитектурных парадигм позволило определить оптимальное решение для данной задачи: сервисная шина предприятия (*ESB*) и микросервисная архитектура [5; 6].

Концепция *ESB* предполагает наличие центрального компонента-посредника, через который проходят все сообщения между сервисами. Это обеспечивает централизованное управление, стандартизацию протоколов и высокую контролируемость. Однако, как показы-

вает практика, *ESB* имеет существенные недостатки для эволюционирующих систем, каковой является современный веб-проект: высокая связанность компонентов, жесткая последовательность вызовов и, как следствие, сложность внесения изменений.

В отличие от централизованной *ESB*-модели, микросервисная архитектура предлагает построение программного комплекса в виде совокупности небольших узкоспециализированных сервисов, взаимодействующих между собой с использованием легких сетевых протоколов, причем каждый такой сервис обладает собственной предметной областью [7]. Такой подход обеспечивает высокую гибкость, независимость развертывания и масштабирования каждого сервиса, что критически важно для быстро меняющихся требований. Исходя из анализа, именно микросервисный подход был выбран в качестве основы для проектирования экосистемы передачи данных «АСМ-3D. Веб».

Спроектированная экосистема передачи данных (рис. 1) состоит из трех ключевых компонентов, взаимодействующих по принципу клиент-сервер с использованием протокола *HTTPS* и формата *JSON*.

Сервер-супервизор представляет собой серверное приложение, выполняющее функции центрального узла. В его задачи входит: хранение и предоставление оперативных данных (проектов, моделей, настроек), управление доступом и авторизацией пользователей, а так-

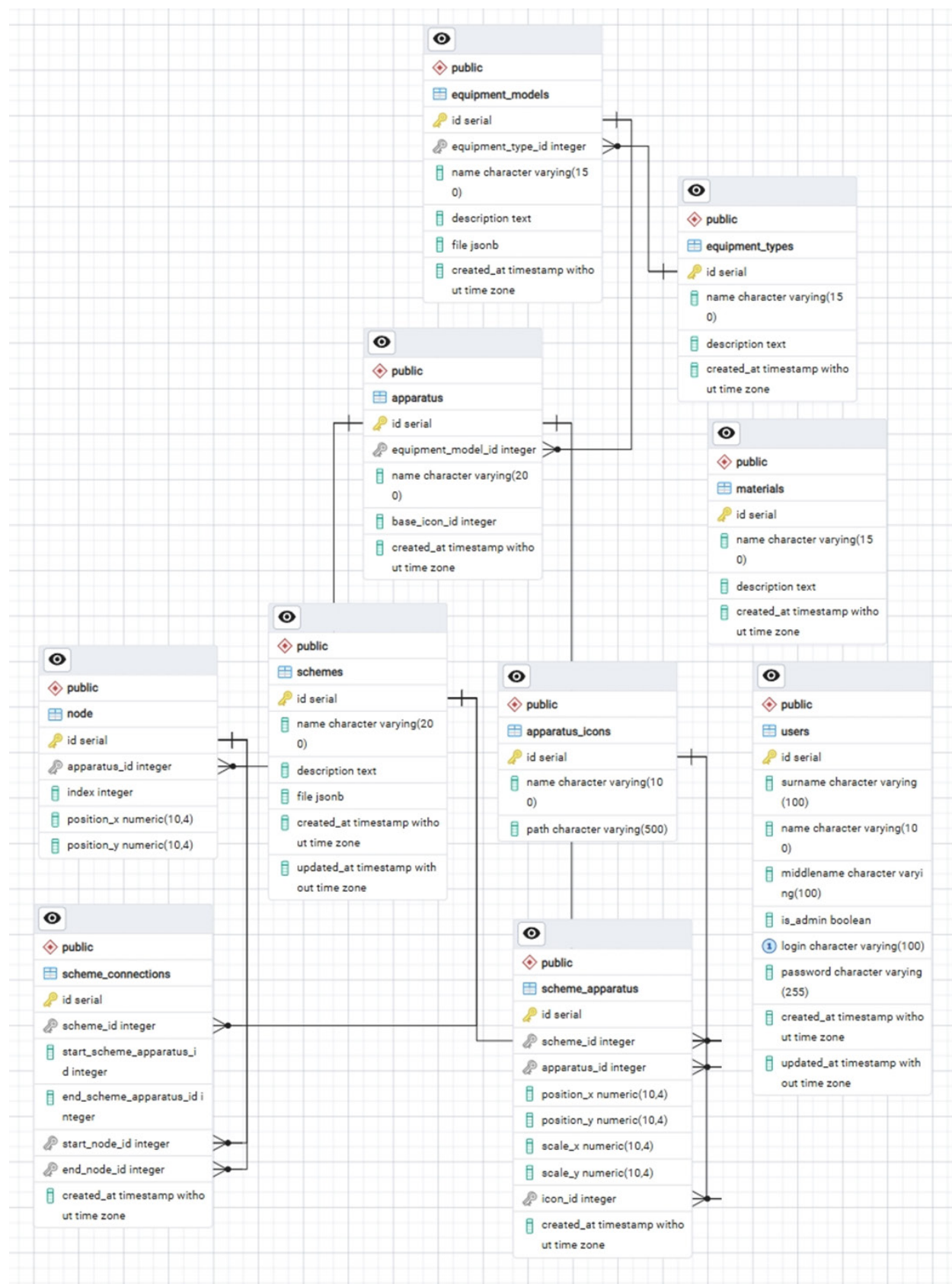


Рис. 2. Схема данных

же регистрация новых компонентов системы. Супервизор реализован на *Python3* с использованием микрофреймворка *Flask*, что обеспечивает легкость и быстроту разработки. *Flask* выступает в роли *REST API*-сервера, обрабатывающего *HTTP*-запросы от клиента. Для хранения данных используется СУБД *PostgreSQL*. Взаимодействие между *Flask*-приложением и базой данных осуществляется через библиотеку *psycopg2*.

Клиентская часть системы представляет собой веб-интерфейс, разработанный на *JavaScript* с использованием фреймворка *React*. Этот интерфейс выполняет две ключевые функции: предоставление пользователю удобного меню и элементов управления (*UI*), а также интеграцию с графическим ядром на основе *Unity WebGL*, которое отвечает за отрисовку 2D-схем. Для связи *React*-приложения и *Unity*-модуля применяется библиотека *react-unity-webgl* и специально разработанный *JSLib*-плагин, обеспечивающий двусторонний обмен командами и данными (e.g., команды *ADD_OBJECT*, *DELETE*, *UNDO* и событие *OnProjectDataReceived*).

Ключевым архитектурным решением является сохранение кодовой базы графического модуля. *Unity*-приложение, изначально разработанное для десктопной версии, было адаптировано для работы в веб-среде путем компиляции в *WebAssembly (WASM)*. В ходе адаптации были внесены существенные изменения: полностью отключен модуль *TCP*-клиента, переработан механизм сохранения и загрузки данных для работы через событийную модель, а также добавлен *JSLib*-плагин для интеграции с *React*. Это позволило сохранить весь функционал 2D-конструктора и обеспечить высокую степень преемственности между версиями продукта.

Для эффективного управления информацией о проектах, аппаратах и пользователях была разработана реляционная схема базы данных в *PostgreSQL* (рис. 2). Выбор *PostgreSQL* обусловлен его надежностью, поддержкой сложных запросов, транзакций с полной изоляцией (*ACID*) и возможностью работы с данными в формате *JSON*, что критично для хранения гибких структур данных схем [8].

Ядром базы данных выступает таблица *schemes*, в которой сохраняются проектные данные: наименование (*name*), краткое описание (*description*) и полная структура схемы в фор-

мате *JSON (file)*. Для хранения информации об оборудовании и связях задействованы таблицы *equipment_types*, *equipment_models*, *apparatus*, *apparatus_icons*, *scheme_apparatus*, *node* и *scheme_connections*.

Для хранения различных типов оборудования и их визуального представления созданы связанные таблицы:

- *equipment_types* – описывает типы оборудования (Насос, Реактор, Теплообменник и т.д.);
- *equipment_models* – содержит информацию о конкретных моделях оборудования с ссылкой на тип;
- *apparatus* – является экземпляром модели и может быть добавлен на схему;
- *apparatus_icons* – хранит путь к графической иконке аппарата.

Таблица *scheme_apparatus* связывает конкретную схему (*scheme_id*) с экземпляром аппарата (*apparatus_id*), сохраняя его позицию (*position_x*, *position_y*), масштаб (*scale_x*, *scale_y*) и выбранную иконку (*icon_id*).

Таблица *node* описывает узлы (входы/выходы) аппарата, определяя их порядковый номер (*index*) и координаты на схеме. Это позволяет гибко настраивать точки подключения трубопроводов.

Таблица *scheme_connections* служит для хранения связей между аппаратами. Она хранит идентификаторы начального и конечного аппаратов (*start_scheme_apparatus_id*, *end_scheme_apparatus_id*) и ссылки на конкретные узлы (*start_node_id*, *end_node_id*), между которыми проложено соединение.

Такой подход позволяет не только хранить информацию о проектах для веб-версии, но и обеспечивает совместимость форматов данных с десктопным приложением. Использование унифицированного *JSON*-представления гарантирует переносимость проектов между веб-интерфейсом и локальной версией программы.

В ходе исследования спроектировано и реализовано распределенное серверное решение для проектирования химико-технологических схем. Переход к веб-ориентированной архитектуре на базе микросервисного подхода обеспечил гибкость и масштабируемость системы. Существенным результатом стала адаптация и интеграция графического модуля *Unity*, что позволило сохранить функциональность и ускорить разработку. Реляционная модель данных на *PostgreSQL* обеспечивает надежное хранение

информации о проектах, оборудовании и пользователях.

Предложенная экосистема передачи данных, использующая *REST API*, протокол *HTTPS* и формат *JSON*, является открытой для рас-

ширения. Дальнейшие направления развития включают интеграцию с системами расчета, создание модуля для коллективной работы над проектами в реальном времени и развитие конструктора 3D-моделей.

Литература

1. Пономарев, К.С. Цифровой двойник производства как инструмент цифровизации технологических процессов предприятия / К.С. Пономарев, А.Н. Феофанов // Актуальные тренды и перспективы развития науки, техники, технологий : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, 2019. – С. 141–145. – EDN: YXVOHJ.
2. Абазьева, М.П. Цифровые двойники: концепция, возможности, перспективы / М.П. Абазьева // Наука и бизнес: пути развития. – М. : ТМБпринт. – 2019. – № 5(95). – С. 210–212. – EDN: QIXXXP.
3. Архипов, А.М. Разработка программного модуля для конструирования схем химико-технологических производств в 2D представлении / А.М. Архипов, А.В. Лобанов, Н.В. Сидоренко // Успехи в химии и химической технологии. – 2024. – Т. 38. – № 1(280). – С. 70–72. – EDN: GCPAGX.
4. Сидоренко, Н.В. Разработка программного модуля для автоматизированной визуализации схем химико-технологических производств в 3D представлении / Н.В. Сидоренко, А.В. Лобанов, А.М. Архипов // Успехи в химии и химической технологии. – 2024. – Т. 38. – № 9(288). – С. 80–82. – EDN: OWWTJR.
5. Ford, N. Building Evolutionary Architectures: Support Constant Change : 1st ed. / N. Ford, R. Parsons, P. Kua. – O'Reilly Media, 2017. – 190 p.
6. Schmidt, M.-T. The Enterprise Service Bus: Making service-oriented architecture real / M.-T. Schmidt, B. Hutchison, P. Lambros, R. Phippen // IBM Systems Journal. – 2005. – Vol. 44. – No. 4. – P. 781–797. – DOI: 10.1147/sj.444.0781.
7. Dragoni, N. Microservices: Yesterday, Today, and Tomorrow / N. Dragoni, S. Giallorenzo, A.L. Lafuente, M. Mazzara, F. Montesi, R. Mustafin, L. Safina // Present and Ulterior Software Engineering, 2017. – P. 195–216. – DOI: 10.1007/978-3-319-67425-4_12. – EDN: PJAEMP.
8. Порог, Е.В. PostgreSQL 18 изнутри / Е.В. Порог. – М. : ДМК Пресс, 2026. – 682 с.

References

1. Ponomarev, K.S. TSifrovoy dvojnik proizvodstva kak instrument tsifrovizatsii tekhnologicheskikh protsessov predpriyatiya / K.S. Ponomarev, A.N. Feofanov // Aktualnye trendy i perspektivy razvitiya nauki, tekhniki, tekhnologij : sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, 2019. – S. 141–145. – EDN: YXVOHJ.
2. Abazeva, M.P. TSifrovye dvojniki: kontseptsiya, vozmozhnosti, perspektivy / M.P. Abazeva // Nauka i biznes: puti razvitiya. – M. : TMBprint. – 2019. – № 5(95). – S. 210–212. – EDN: QIXXXP.
3. Arkhipov, A.M. Razrabotka programmnoy modulya dlya konstruirovaniya skhem khimiko-tekhnologicheskikh proizvodstv v 2D predstavlenii / A.M. Arkhipov, A.V. Lobanov, N.V. Sidorenko // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2024. – T. 38. – № 1(280). – S. 70–72. – EDN: GCPAGX.
4. Sidorenko, N.V. Razrabotka programmnoy modulya dlya avtomatizirovannoy vizualizatsii skhem khimiko-tekhnologicheskikh proizvodstv v 3D predstavlenie / N.V. Sidorenko, A.V. Lobanov, A.M. Arkhipov // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2024. – T. 38. – № 9(288). – S. 80–82. – EDN: OWWTJR.
8. Rogov, E.V. PostgreSQL 18 iznutri / E.V. Rogov. – M. : DMK Press, 2026. – 682 s.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ДОКУМЕНТООБОРОТА В ЮРИДИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.О. МАНТУРОВ, М.С. ПАБИЯХА

*Поволжский институт управления имени П.А. Столыпина – филиал
ФГБОУ ВО «Российская академия народного хозяйства и государственной службы
при Президенте Российской Федерации»,
г. Саратов*

Ключевые слова и фразы: автоматизация; документооборот; юридическая деятельность; информационные технологии; электронная документация; цифровая трансформация.

Аннотация: Настоящая статья посвящена исследованию возможностей автоматизации документооборота в юридической деятельности. Цель – выявление барьеров внедрения систем электронного документооборота (СЭД) и искусственного интеллекта (ИИ) в юридическую практику и разработка рекомендаций по их преодолению. Методология включает теоретический анализ нормативной базы (ФЗ № 149, ФЗ № 63), эмпирический анализ кейсов ведущих компаний (PwC, ВТБ, Сбер и др.) и сравнительный анализ программных продуктов СЭД. Гипотеза: внедрение комплексных СЭД с интеграцией ИИ сокращает операционные расходы и время обработки документов в среднем на 40 %, минимизируя риски человеческого фактора. Результаты: доказана эффективность ИИ для рутинных задач (анализ договоров, комплаенс); выявлены ключевые барьеры (законодательные, интеграционные, риски облачной безопасности). Сделан вывод о необходимости параллельного развития нормативной базы и стандартов инфобезопасности.

Документация играет ключевую роль в профессиональной деятельности юриста. Традиционные методы обработки документов требуют значительных временных затрат и усилий сотрудников. Современные технологии предлагают эффективные решения для оптимизации процессов работы с информацией. Развитие информационных технологий привело к появлению специализированных систем, позволяющих автоматизировать большинство рутинных операций, повысить производительность труда и снизить вероятность ошибок.

Процесс автоматизации документооборота предполагает использование специализированного программного обеспечения, которое позволяет организовать хранение, доступ, управление и контроль над электронными документами [7, с. 155–156].

Рассмотрим основные практические случаи успешного внедрения и проанализируем достигнутые результаты. Среди наиболее известных примеров можно отметить компанию PwC, которая успешно внедрила собственную систе-

му электронного документооборота, позволившую значительно ускорить процесс обработки договоров и контрактов.

Международная аудиторская компания PwC широко применяет систему электронного документооборота (EDMS), разработанную специально для нужд собственных юридических департаментов [14; 15]. Использование централизованной базы данных позволило сотрудникам получать мгновенный доступ ко всей необходимой информации, независимо от места нахождения офиса. Благодаря этому сократились сроки обработки контрактов и повысилось качество предоставляемых услуг клиентам.

Одна из крупнейших мировых юридических фирм *Latham & Watkins* внедрила решение для управления юридическими делами, включая модули для автоматической проверки соответствия требованиям регуляторов и контрагентов (*Legal Compliance Management System*) [12]. Это обеспечило значительную экономию времени и снижение риска судебных споров.

Юридическое бюро *DLA Piper* реализовало

проект полной цифровизации внутренней документации (*Digital Documentation Hub*) [13], перейдя на бумажные носители исключительно в случаях строгих законодательных требований. Теперь сотрудники имеют постоянный доступ к документам и протоколам онлайн, обеспечивая высокий уровень защищенности данных.

В России наблюдается рост интереса среди компаний к внедрению цифровых технологий в юридическую практику. Среди таких компаний можно отметить банковскую группу ВТБ, Сбер, Роснефть.

Банковская группа ВТБ запустила пилотный проект внедрения автоматизированной системы управления контрактами [1], объединив финансовые и правовые отделы в единый контур управления договорной деятельностью. Результаты показали существенное сокращение сроков подписания соглашений и снижение нагрузки на персонал благодаря механизму автонапоминания и контроля исполнения обязательств сторон.

Сбербанк активно интегрирует технологии интеллектуальных помощников и роботизированных платформ для упрощения оформления сделок, оценки кредитных заявок и сопровождения юридических вопросов клиентов банка [8]. Платформа позволяет оперативно создавать типовые договоры, шаблоны писем и заявлений, сокращая трудоемкость работы.

Нефтяная корпорация Роснефть реализует масштабный проект перевода всего внутреннего документооборота на электронную основу. Через специальную внутреннюю площадку теперь проходят подписание и согласование внутренних распоряжений, служебных записок и поручений руководства, обеспечивая ускорение бизнес-процессов и уменьшение зависимости от физического перемещения бумаг [9].

К числу наиболее популярных продуктов, с помощью которых может быть организована автоматизированная систем электронного документооборота в юридической деятельности, можно отнести: 1С; ДЕЛО; ТЕЗИС; ЛОГИКА; А2В; Ландокс; *ELMA365 ECM*; *TESSA*; *DocsVision*; *Directum* [3; 11].

Анализ показывает, что основная цель большинства инициатив – повышение скорости обработки документов, улучшение контроля исполнения обязанностей и снижение операционных расходов. Среднее сокращение времени на оформление стандартной сделки составляет около 40 %, что отражается на общей финансо-

вой выгоде организации.

Автоматизация документооборота приносит ощутимые выгоды в юридической деятельности, улучшая эффективность и конкурентоспособность, но несмотря на очевидные выгоды, автоматизация документооборота сталкивается с рядом препятствий.

Одной из главных трудностей является то, что законодательство многих стран, включая Россию, еще недостаточно адаптировано к современным реалиям автоматизации документооборота. Наличие множества законодательных барьеров и отсутствие четких регламентов осложняет полный переход на электронный документооборот. Однако в сфере автоматизации документооборота в юридической деятельности в России есть нормативно-правовые акты, регулирующие использование электронных документов и электронной подписи. Например: Федеральный закон «Об электронной подписи» от 06.04.2011 № 63-ФЗ [6] – устанавливает правовые основы для создания, проверки и использования электронной подписи, определяет виды электронной подписи и требования к ним; Федеральный закон «Об информации, информационных технологиях и о защите информации» от 27.07.2006 № 149-ФЗ [5] – регулирует широкий спектр вопросов, связанных с использованием информационных технологий и защитой информации; Методические рекомендации по порядку обмена электронными документами [4] – устанавливают процедуры взаимодействия между организациями или физическими лицами как напрямую, так и через оператора электронного документооборота.

Часто возникает проблема совместимости новой системы с уже установленными технологиями, такими как *ERP*, *CRM* и бухгалтерские программы. Несовместимость интерфейсов затрудняет обмен данными и усложняет взаимодействие подразделений.

Однако эффективное и относительно недорогое решение есть. Так, распространение облачных технологий открывает новые возможности для юридических организаций любого масштаба. Компании получают доступ к мощным вычислительным ресурсам, размещенным вне локальной сети, что облегчает поддержку и обновление систем.

Внедрение облачных технологий обеспечивает компаниям значительную оптимизацию издержек за счет отказа от содержания собственной ИТ-инфраструктуры. Эта модель позволяет

сократить капитальные затраты на приобретение программного обеспечения, а также финансовые и временные ресурсы, необходимые для разработки и внедрения новых продуктов. В частности, отпадает необходимость в содержании штата узкопрофильных специалистов (сетевых администраторов, инженеров по серверам), а также в самостоятельном обеспечении отказоустойчивости сети и сохранности данных. Первыми на этот путь встали такие технологические гиганты, как *Microsoft*, *IBM*, *Google* и *Intel*. В российской практике наглядным примером является использование облачных терминальных решений для программных продуктов 1С и справочно-правовых систем (СПС) [10, с. 75–76].

Вместе с тем стремительное развитие облачных сервисов порождает ряд критических проблем, связанных с информационной безопасностью и правовым регулированием. Ключевой проблемой является недостаточная нормативная проработка отношений между провайдерами и потребителями услуг. Это затрудняет цивилизованное разрешение конфликтов, особенно в контексте накопления в облаках огромных массивов данных, включая персональные сведения граждан, коммерческую тайну и иную конфиденциальную информацию.

Ситуация усугубляется отсутствием единой точки входа в облачные сервисы. При передаче бизнес-процессов на аутсорсинг организация вынуждена распределять данные между несколькими внешними подрядчиками, что мультиплицирует риски нарушения их целостности и конфиденциальности. В то время как крупные корпорации решают эту проблему путем создания частных облаков, малый и средний бизнес, использующий публичные сервисы, часто не обладает достаточными правовыми инструментами для защиты своих интересов.

Дополнительным фактором риска является то, что провайдеры не предоставляют клиентам возможности проводить аудит защищенности своих систем. Это лишает заказчика контроля над уровнем обеспечения безопасности его данных. В связи с этим актуализируется вопрос о целесообразности введения института неза-

висимых аудиторов, специализирующихся на проверках облачной инфраструктуры. Данный механизм, наряду с обязательной сертификацией сервисов, требует тщательной правовой экспертизы.

В конечном счете актуальность проблемы безопасности обусловлена отсутствием единых стандартов для облачных сред, а также унифицированных инструментов для измерения и оценки уровней рисков и угроз.

Кроме того, позволяет существенно упростить процесс автоматизации юридической деятельности применение ИИ-технологий, задачей которых является анализ большого объема данных, распознавания текста и автоматического формирования отчетов, проверка точности документов и рекомендации по правовому сопровождению сделок.

Уже сейчас некоторые российские юридические компании начинают применять подобные инновации в своей практике, демонстрируя значительный потенциал роста эффективности и снижения издержек: *Sameta* выявляет риски в договорах, ГК «Правовая инициатива» автоматизирует обработку клиентских запросов, *Hill Consulting* мониторит изменения законодательства и предупреждает о нарушениях, а Деловой союз юристов применяет ИИ для проверки качества юридических заключений, снижая человеческий фактор.

По мере расширения признания электронных подписей и развития ИИ государственные органы и бизнес будут переходить на полностью цифровое взаимодействие, снижая административные барьеры.

Автоматизация документооборота является ключевым фактором конкурентоспособности юридических служб. Внедрение СЭД и ИИ способно сократить операционные расходы и время обработки документов до 40 %. Однако успешная цифровая трансформация отрасли возможна только при условии преодоления технологических барьеров интеграции, развития института независимого аудита облачных провайдеров и дальнейшей адаптации нормативно-правовой базы к реалиям цифровой экономики.

Литература

1. Банковское сопровождение контрактов ВТБ набирает обороты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.vedomosti.ru/kapital/special/2025/09/02/bankovskoe-soprovozhdenie-kontraktov-vtb-nabiraet-oboroti-erid-2VfnxyLKuLc>.

2. Готовые решения для автоматизации работы юристов и правовых департаментов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://legal-it.pravo.ru>.
3. Иванова, Е.В. Электронный документооборот как форма современного делопроизводства / Е.В. Иванова // Гуманитарий Юга России. – 2017. – № 1(23). – С. 196–206.
4. Методические рекомендации по порядку обмена электронными документами между хозяйствующими субъектами или физическими лицами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=387838#QYDBu9VIppMP5HpQ2>.
5. Об информации, информационных технологиях и о защите информации : Федеральный закон от 27.07.2006 № 149-ФЗ (ред. от 24.06.2025) // Собрание законодательства РФ. – 2006. – № 31 (1 ч.). – ст. 3448.
6. Об электронной подписи : Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ (ред. от 21.04.2025) // Собрание законодательства РФ. – 2011. – № 15. – ст. 2036.
7. Павлухина, К. Автоматизированный контроль исполнения документов / К. Павлухина // Документ в современном обществе: между прошлым и будущим : тезисы X Всероссийской студенческой научно-практической конференции. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – С. 154–157.
8. Экосистема AI-решений Сбербанка: стратегический обзор: Доклад ЦБ РФ (апрель 2021 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://cbr.ru/Content/Document/File_119960/Consultation_Paper_02042021.pdf.
9. «Роснефть» проводит цифровую трансформацию процессов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://www.vedomosti.ru/technologies/innovation_policy/articles/2024/07/21/1051318-rosneft-provodit-tsifrovuyu-transformatsiyu-protsessov.
10. Троицкая, Е.А. Информационные технологии в юридической деятельности : учеб.-практ. пособие / Е.А. Троицкая, Л.А. Артюшина ; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021. – С. 75–76.
11. 10 лучших программ для электронного документооборота [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.eg-online.ru/article/275745>.
12. Knowledge hub [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.dlapiperwin.com/win-insights>.
13. Latham & Watkins, a global law firm, advises the businesses and institutions that power the global economy [Electronic resource]. – Access mode : <https://pitchgrade.com/companies/latham-watkins>.
14. Electronic Document Management Services [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.pwc.de/de/risk-regulatory/risk/electronic-document-management-services.html>.
15. Akhir, P. Electronic Document Management System / P. Akhir, E. Akashah, R. Syamsul Rizal, J. Kamaruzaman, E. Christon // World Applied Sciences Journal. – 2011. – Vol. 12 (Special Issue on Computer Applications & Knowledge Management). – P. 55–58.

References

1. Bankovskoe soprovozhdenie kontraktov VTB nabiraet obroty [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.vedomosti.ru/kapital/special/2025/09/02/bankovskoe-soprovozhdenie-kontraktov-vtb-nabiraet-oboroti-erid-2VfnxyLKuLc>.
2. Gotovye resheniya dlya avtomatizatsii raboty yuristov i pravovykh departamentov [Electronic resource]. – Access mode : <https://legal-it.pravo.ru>.
3. Ivanova, E.V. Elektronnij dokumentooborot kak forma sovremennogo deloproizvodstva / E.V. Ivanova // Gumanitarij YUga Rossii. – 2017. – № 1(23). – S. 196–206.
4. Metodicheskie rekomendatsii po poryadku obmena elektronnyimi dokumentami mezhdru khozyajstvuyushchimi subektami ili fizicheskimi litsami [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=387838#QYDBu9VIppMP5HpQ2>.
5. Ob informatsii, informatsionnykh tekhnologiyakh i o zashchite informatsii : Federalnij zakon ot 27.07.2006 № 149-FZ (red. ot 24.06.2025) // Sobranie zakonodatelstva RF. – 2006. – № 31 (1 ch.). –

st. 3448.

6. Ob elektronnoj podpisi : Federalnij zakon ot 06.04.2011 № 63-FZ (red. ot 21.04.2025) // Sobranie zakonodatelstva RF. – 2011. – № 15. – st. 2036.

7. Pavlukhina, K. Avtomatizirovannij kontrol ispolneniya dokumentov / K. Pavlukhina // Dokument v sovremennom obshchestve: mezhdru proshlym i budushchim : tezisy X Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Ekaterinburg : Izd-vo Ural. un-ta, 2017. – S. 154–157.

8. Ekosistema AI-reshenij Sberbanka: strategicheskij obzor: Doklad TSB RF (aprel 2021 g.) [Electronic resource]. – Access mode : https://cbr.ru/Content/Document/File_119960/Consultation_Paper_02042021.pdf.

9. «Rosneft» provodit tsifrovuyu transformatsiyu protsessov [Electronic resource]. – Access mode : https://www.vedomosti.ru/technologies/innovation_policy/articles/2024/07/21/1051318-rosneft-provodit-tsifrovuyu-transformatsiyu-protsessov.

10. Troitskaya, E.A. Informatsionnye tekhnologii v yuridicheskoy deyatel'nosti : ucheb.-prakt. posobie / E.A. Troitskaya, L.A. Artyushina ; Vladim. gos. un-t im. A.G. i N.G. Stoletovykh. – Vladimir : Izd-vo VIGU, 2021. – S. 75–76.

11. 10 luchshikh programm dlya elektronnoho dokumentooborota [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.eg-online.ru/article/275745>.

© А.О. Мантуров, М.С. Пабияха, 2026

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ ОБРАБОТКИ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЙ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СЕТИ КОТЕЛЬНЫХ НА ОСНОВЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИНЦИДЕНТА

Г.Б. ПЕТРОВ, И.Р. БАДЕРТДИНОВ

АНО ВО «Университет Иннополис»,

г. Иннополис;

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»,

г. Москва

Ключевые слова и фразы: системный анализ; диспетчеризация; котельные; аварийное событие; жизненный цикл инцидента; SMS-шлюз; журнал действий; промышленная безопасность.

Аннотация: Цель исследования – разработать и апробировать системную модель обработки аварийных событий в распределенной сети котельных, обеспечивающую прослеживаемость жизненного цикла инцидента от первичного сообщения до закрытия и расчета показателей реакции. Задачи исследования включали выделение сущностей информационного потока, описание состояний и переходов инцидента, формирование алгоритма обработки сообщений, определение метрик диспетчерской реакции и проверку модели на пилотной выгрузке. Гипотеза исследования состоит в том, что разделение уровней «сообщение – событие – инцидент – действие – метрика» повышает управляемость аварийной информации и позволяет контролировать реакцию смены без вмешательства в автоматику котельной. Используются методы системного анализа, процессного моделирования, нормализации событийных сообщений, классификации инцидентов и статистической обработки операционного журнала. По журналу пилотной эксплуатации за 02.05.2026–19.05.2026 проанализированы 180 записей по 24 объектам, включая 96 аварийных и потенциально аварийных событий. Достигнутые результаты: предложена структурная модель событийного контура, определены состояния и действия инцидента, рассчитаны медианное время до первого действия (66 секунд), медианное время до связи с ответственным лицом (100,5 секунды) и зафиксировано закрытие с причиной по 96 из 96 проверенных событий. Показано, что модель может применяться как учетная надстройка над существующей автоматикой без удаленного управления оборудованием.

Введение

Распределенная сеть котельных работает как единая инженерная система, но аварийная информация в ней часто появляется в виде отдельных коротких сигналов. Для диспетчера важен не только сам текст сообщения. Необходимо быстро понять объект, характер события, ответственного сотрудника и дальнейший порядок действий.

В практической работе часть сведений остается в SMS, часть – в телефонных разговорах, часть – в сменном журнале или электронной таблице. Из-за этого после смены трудно

восстановить хронологию: кто принял сигнал, был ли звонок, когда инцидент закрыт и какая причина указана. Формально сообщение есть, а управляемого жизненного цикла может не быть.

Требования промышленной безопасности, охраны труда и эксплуатации автоматизированных систем ориентируют организацию на прослеживаемость действий и учет риска [1–3; 12; 15]. Поэтому первый этап цифровизации диспетчерской службы целесообразно строить вокруг событийного журнала, где сигнал превращается в инцидент с состоянием, действиями и результатом.

Цель статьи – разработать системную мо-

Таблица 1. Базовые сущности событийного контура

Сущность	Содержание	Управленческая роль
Сообщение	исходный текст и технические признаки доставки	сохранение первичного факта
Событие	нормализованный тип, объект и критичность	классификация и маршрутизация
Инцидент	статус, связанные события и ответственные	контроль жизненного цикла
Действие	принятие, звонок, недозвон, закрытие	аудит работы персонала
Метрика	<i>МТТА</i> , <i>МТС</i> , закрытие, повторяемость	управление по данным

дель обработки аварийных событий в сети котельных и проверить ее на данных пилотной эксплуатации. Для этого выделяются сущности информационного потока, описываются состояния инцидента, формируется алгоритм обработки и отображаются показатели, полезные для руководителя диспетчерской службы.

Литературный обзор

Стандарты комплекса ГОСТ 34 позволяют описывать диспетчеризацию как автоматизированную систему с функциями, данными, пользователями и стадиями создания [1; 2]. Для сети котельных эту рамку нужно дополнить процессным уровнем: входная запись должна быть связана не только с объектом, но и со статусом реакции.

Работы по цифровизации промышленной безопасности показывают, что разобщенность учетных систем снижает качество управленческих решений [4–6; 13]. В диспетчерской практике это означает, что хранение сообщений само по себе не дает контроля над аварийным случаем, если звонки, недозвоны, прибытие и причина закрытия фиксируются отдельно. Исследования *Safety 4.0* подчеркивают, что цифровой инструмент должен быть понятен смене и не увеличивать ручную нагрузку [7; 8; 12]. В теплоснабжении также усиливается интерес к эксплуатации на основе данных, диагностике и интеллектуальным тепловым сетям [11; 14]. Однако перед сложной аналитикой требуется аккуратно накопить историю событий и действий.

Стандарты управления тревогами и безопасности операционных технологий обращают внимание на подтверждение тревоги, историзацию, приоритеты и последствия ошибок [9; 10; 15]. Поэтому ранний контур для котельных должен быть учетным и наблюдательным: он помогает принять решение, но не подменяет техно-

логическое управление оборудованием.

Материалы и методы

Объектом моделирования является сеть котельных $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$. Каждый объект формирует сообщения $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$, поступающие через *SMS*-шлюз, локальный контроллер, телефонную фиксацию диспетчера или иной согласованный канал. Для сообщения сохраняются время, отправитель, канал, объект, исходный текст и технический статус доставки.

После сохранения выполняется нормализация: текст сопоставляется с объектом, типом события, признаком аварии или восстановления и уровнем критичности. Если событие требует реакции, создается или обновляется инцидент $I = \langle E, S, A, R \rangle$, где E – связанные события, S – состояние, A – журнал действий, R – результат закрытия.

Состояния инцидента включают «новый», «принят», «в работе», «ожидает уточнения», «закрыт» и «ошибка распознавания». Переходы запускаются действиями диспетчера: принятием, звонком, недозвоном, эскалацией, прибытием, комментарием и закрытием. Нераспознанные сообщения не удаляются, а попадают в отдельный журнал для настройки правил.

Эмпирическая часть выполнена по нагрузке операционного журнала программного продукта «Диспетчеризация котельных» за 02.05.2026–19.05.2026. Рассчитывались количество записей и объектов, доля аварийных событий, медианное время до первого действия (*МТТА*), медианное время до связи с ответственным лицом (*МТС*) и доля закрытия с причиной или комментарием.

Результаты

В результате модель разделяет четыре

Таблица 2. Итоги пилотной выгрузки

Показатель	Значение	Интерпретация
Период выгрузки	02.05.2026–19.05.2026	начальный этап эксплуатации
Количество записей	180	массив для анализа процесса
Объекты с событиями	24	распределенный контур
Аварийные события	96	основной сценарий реагирования
<i>МТТА</i>	66 секунд	скорость первого действия
<i>МТС</i>	100,5 секунды	фиксация связи с персоналом
Закрытие с причиной	96 из 96	полнота жизненного цикла

Таблица 3. Основные риски событийного контура

Риск	Источник	Снижение
Подмена сообщения	внешний SMS-канал	белые списки <i>SIM</i> , шаблоны, журнал источника
Потеря сообщения	канал или шлюз	контроль шлюза, резервный канал, журнал неопределенных событий
Формальная фиксация	слабая работа смены	обязательное действие в карточке
Компрометация доступа	учетная запись	роли, аудит, развитие двухфакторной аутентификации
Ошибка классификации	будущий модуль обработки	алгоритм как подсказка, решение остается за диспетчером

вещи, которые в обычном журнале часто смешиваются. *SMS* остается первичным фактом; после разбора из него получается событие; инцидент хранит состояние работы по случаю; действие показывает, что именно сделал диспетчер. При такой схеме можно проверить не только наличие текста, но и выполнение процедуры.

Обработка устроена последовательно: принять сообщение, сохранить исходник, определить объект, привести запись к типу события, убрать повторы, открыть или обновить карточку и записать действие смены. Повторы не отбрасываются полностью: они остаются в истории, но не открывают новый инцидент по той же аварии.

В пилотном журнале за 02.05.2026–19.05.2026 оказалось 180 записей по 24 объектам. Для основной проверки взяты 96 аварийных и потенциально аварийных событий. По каждому случаю есть закрытие с причиной или комментарием. Медиана от поступления до первого действия – 66 секунд; до связи с ответ-

ственным лицом – 100,5 секунды.

Эти числа нужны не для сравнения с отраслью, а для внутреннего контроля смены. По ним видно, где карточка оставалась без реакции дольше обычного, какие объекты повторялись чаще, какие причины указывались при закрытии и какие действия занимали больше времени.

Обсуждение

Главный системный эффект состоит в переходе от отдельной строки к рабочей карточке инцидента. Диспетчер видит состояние, историю действий и основание закрытия. Руководитель получает сопоставимые показатели, а техническая служба – материал для поиска повторяемых причин.

GSM/SMS-канал в данной модели не является универсальной заменой промышленным сетям, телемеханике или *SCADA*-интеграции. Его роль ограничена начальным уровнем уведомления, полезным при нестабильном мобиль-

Заключение

ном интернете, белых списках *SIM*-карт и поэтапной модернизации объектов. Архитектура должна поддерживать несколько источников и не замыкаться на одном канале.

Автоматическая классификация сообщений перспективна после накопления качественной истории.

На раннем этапе алгоритмы могут предлагать категорию, находить дубликаты и похожие случаи, но не должны самостоятельно снижать критичность или закрывать инцидент.

Окончательное решение остается за диспетчером, поскольку речь идет о промышленной эксплуатации и ответственности организации.

Проверка пока остается ограниченной: журнал охватывает 18 календарных дней, и в работе не было отдельного замера состояния до внедрения. Поэтому значения 66 секунд и 100,5 секунды следует читать как результат конкретного пилота, а не как отраслевой норматив.

При расширении контура потребуется заново сравнить показатели по сменам, объектам, типам сообщений и каналам связи.

Проведенная работа сводит диспетчеризацию котельных к конкретной рабочей схеме: сначала система сохраняет исходное сообщение, затем выделяет событие, открывает или обновляет инцидент, фиксирует действия смены и только после этого считает показатели.

Для системного анализа здесь важен не сам *SMS*-канал, а отделение технического факта от состояния процесса. Такое отделение позволяет проектировать журнал, роли пользователей и отчеты без немедленного вмешательства в автоматику котельной. Пилотный журнал показал практическую пользу такого разбиения. По нему видно, когда диспетчер впервые отреагировал, была ли попытка связи с ответственным лицом, чем завершился случай и насколько акkuratно заполнена причина.

Следующий шаг – проверка модели на более длинной выборке: больше объектов, несколько смен, разные типы контроллеров, резервные каналы и уточненные правила распознавания.

Литература

1. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 24 с.
2. ГОСТ 34.601-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. – М. : Издательство стандартов, 1991. – 10 с.
3. ГОСТ Р ИСО 45001-2020. Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования и руководство по применению. – М. : Стандартинформ, 2020. – 40 с.
4. Кадырова, А.А. Цифровизация предприятий и электронная паспортизация оборудования опасных производственных объектов / А.А. Кадырова // НБИ технологии. – 2020. – Т. 14. – № 3. – С. 23–27. – DOI: 10.15688/NBIT.jvolsu.2020.3.4. – EDN: USIXRS.
5. Nurova, O. Actual Problems of Digitalization in the Field of Industrial Safety Management / O. Nurova // Advances in Economics, Business and Management Research. – 2021. – Vol. 171. – P. 221–226. – DOI: 10.2991/aebmr.k.210318.036.
6. Шептунов, М.В. Мониторинг безопасности информатизированных котельных с сетевым доступом и оценка риска на логико-вероятностной модели / М.В. Шептунов // Проблемы анализа риска. – 2018. – Т. 15. – № 6. – С. 80–91. – DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-80-91. – EDN: YQZLDV.
7. Akyildiz C. Integration of digitalization into occupational health and safety and its applicability: a literature review / C. Akyildiz // The European Research Journal. – 2023. – Vol. 9. – No. 6. – P. 1509–1519. – DOI: 10.18621/eurj.1352743. – EDN: EMZCGS.
8. Cagno, E. Digital solutions for workplace safety: An empirical study on their adoption in Italian metalworking SMEs / E. Cagno, D. Accordini, A. Neri, E. Negri, M. Macchi // Safety Science. – 2024. – Vol. 177. – Article 106598. – P. 1–20. – DOI: 10.1016/j.ssci.2024.106598. – EDN: KHASUA.
9. IEC 62682:2022. Management of alarm systems for the process industries. – Geneva : International Electrotechnical Commission, 2022. – 146 p.

10. ISA/IEC 62443 Series of Standards. Security for industrial automation and control systems. International Society of Automation; International Electrotechnical Commission, 2007–2025 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards/isa-iec-62443-series-of-standards>.

11. Lund, H. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems / H. Lund, S. Werner, R. Wiltshire, S. Svendsen, J.E. Thorsen, F. Hvelplund, B.V. Mathiesen // *Energy*. – 2014. – Vol. 68. – P. 1–11. – DOI: 10.1016/j.energy.2014.02.089.

12. Obasi, I.C. The Impact of Digitalization and Information and Communication Technology on the Nature and Organization of Work and the Emerging Challenges for Occupational Safety and Health / I.C. Obasi, C. Benson // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. – 2025. – Vol. 22. – No. 3. – Article 362. – P. 1–17. – DOI: 10.3390/ijerph22030362. – EDN: URJSPT.

13. Reznikov, D.O. Management of risks induced by hazardous industrial facilities / D.O. Reznikov, N.A. Makhutov, O.N. Yudina // *Procedia Structural Integrity*. – 2020. – Vol. 28. – P. 1360–1368. – DOI: 10.1016/j.prostr.2020.10.107. – EDN: PNBKWM.

14. Schmidt, D. The current state and future outlook of digitalization for the operation of district heating systems: A review / D. Schmidt, Q. Yang, D. Vanhoudt, E. Widl, et al. // *Energy*. – 2026. – Vol. 344. – Article 140086. – P. 1–18. – DOI: 10.1016/j.energy.2026.140086. – EDN: SYQHFM.

15. NIST SP 800-82 Rev. 3. Guide to Operational Technology (OT) Security / K. Stouffer, M. Pease, C. Tang, T. Zimmerman, V. Pillitteri, S. Lightman, et al. – Gaithersburg : National Institute of Standards and Technology, 2023. – 316 p. – DOI: 10.6028/NIST.SP.800-82r3.

References

1. GOST 34.003-90. Informatsionnaya tekhnologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Terminy i opredeleniya. – M. : Izdatelstvo standartov, 1991. – 24 s.

2. GOST 34.601-90. Informatsionnaya tekhnologiya. Kompleks standartov na avtomatizirovannye sistemy. Avtomatizirovannye sistemy. Stadii sozdaniya. – M. : Izdatelstvo standartov, 1991. – 10 s.

3. GOST R ISO 45001-2020. Sistemy menedzhmenta bezopasnosti truda i okhrany zdorovya. Trebovaniya i rukovodstvo po primeneniyu. – M. : Standartinform, 2020. – 40 s.

4. Kadyrova, A.A. TSifrovizatsiya predpriyatij i elektronnyaya pasportizatsiya oborudovaniya opasnykh proizvodstvennykh obektov / A.A. Kadyrova // *NBI tekhnologii*. – 2020. – T. 14. – № 3. – S. 23–27. – DOI: 10.15688/NBIT.jvolsu.2020.3.4. – EDN: USIXRS.

6. SHeptunov, M.V. Monitoring bezopasnosti informatizirovannykh kotelnykh s setevym dostupom i otsenka riska na logiko-veroyatnostnoj modeli / M.V. SHeptunov // *Problemy analiza riska*. – 2018. – T. 15. – № 6. – S. 80–91. – DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-80-91. – EDN: YQZLDV.

© Г.Б. Петров, И.Р. Бадертдинов, 2026

МНОГОКОНТУРНОЕ НЕЧЕТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГОРЯЧЕГО ПРЕССОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФАНЕРЫ

Н.А. ИВАНОВ, Ш.Ж. ШАЙДИНОВ, Б.М. ШИФРИН, И.В. ЕЛИСЕЕВ

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: горячее прессование; фанера; пакет шпона; влагосодержание; нечеткая логика; fuzzy-регулятор; многоконтурное управление; *MATLAB Simulink*; автоматизация.

Аннотация: В работе рассматривается задача повышения качества управления процессом горячего прессования при производстве фанеры за счет применения многоконтурного нечеткого регулятора. Основная идея исследования заключается в использовании нечеткой логики для согласованной коррекции температуры и давления с учетом расчетного влагосодержания пакета шпона. Разработана имитационная модель в среде *MATLAB Simulink*. Для сравнения рассмотрены независимые PID-регуляторы температуры и давления и нечеткий регулятор типа *Mamdani*, использующий входные переменные e_T , e_P и e_W . Результаты моделирования показали, что нечеткий регулятор обеспечивает более мягкий температурно-давленческий режим: максимальная температура снизилась со 133,80 до 125,22 °C, а превышение давления – с 0,13718 до 0,054521 МПа. Итоговое значение W при нечетком регулировании оказалось ближе к W_{target} . Полученные результаты подтверждают перспективность применения нечеткой логики для коррекции режимов горячего прессования фанеры.

Список обозначений

T , °C – температура расчетной зоны пакета;
 P , МПа – удельное давление прессования;
 W , % – расчетное влагосодержание;
 T_{cmd} , °C – команда температурного канала;
 P_{cmd} , МПа – команда силового канала;
 T_{ref} , °C – заданная температура;
 P_{ref} , МПа – заданное давление;
 W_{target} , % – целевое влагосодержание;
 τ_T , с – постоянная времени прогрева;
 τ_P , с – постоянная времени давления;
 k_{PT} – влияние давления на прогрев;
 k_{WT} – влияние влажности на прогрев;
 k_{dry} – коэффициент влагоудаления;
 T_{evap} , °C – порог начала влагоудаления;
 W_{eq} , % – нижний предел влагосодержания;
 IAE – интегральная абсолютная ошибка.

Введение

Фанера относится к числу распространенных древесных композиционных материалов.

Требования к фанере общего назначения с наружными слоями из шпона листовых пород регламентируются ГОСТ 3916.1-2018 [2]. Качество готовой фанеры определяется свойствами шпона, клеевым составом, структурой пакета и режимом горячего прессования. Физические свойства фанеры, включая влажность и плотность, определяются по установленным методикам испытаний [3], а прочность клеевого соединения связана с условиями прессования и оценивается в том числе по сопротивлению скалыванию [4].

Горячее прессование является одной из ключевых стадий производства фанеры. На результат процесса влияют температура плит, давление прессования, время выдержки, начальное влагосодержание шпона, толщина шпона, структура пакета и свойства клеевого состава [1; 8; 11]. Эти параметры взаимосвязаны: температура определяет интенсивность прогрева и отверждения клеевого слоя, давление влияет на контакт между листами шпона, а влагосодержание и толщина шпона изменяют условия

теплопередачи по толщине пакета. Поэтому при разработке модели управления процесс прессования целесообразно рассматривать не как один изолированный температурный канал, а как многопараметрический объект.

Для автоматического управления подобными процессами часто применяются *PID*-регуляторы. Они эффективны при управлении отдельными каналами, однако при многопараметрическом процессе требуют настройки независимых контуров и не всегда учитывают состояние материала [5]. В качестве более гибкого подхода в настоящей работе рассматривается нечеткая логика. Нечеткий регулятор позволяет формировать управляющие воздействия на основе правил и учитывать несколько взаимосвязанных переменных процесса [10].

Методы нечеткой логики применяются в задачах деревообработки, сушки пиломатериалов и сортировки листового шпона [6; 7]. Для процессов переработки шпона и производства фанеры также важны исследования клеевых составов и взаимодействия связующего с древесиной, поскольку свойства клея влияют на формирование клеевого соединения и выбор температурно-давленческого режима [8; 9].

Целью настоящей работы является разработка имитационной модели многоконтурного нечеткого регулятора процесса горячего прессования фанеры, позволяющего корректировать температурно-давленческий режим с учетом расчетного влагосодержания пакета шпона.

Для достижения указанной цели решаются следующие задачи: уточнить технологическую постановку задачи для производства березовой фанеры из лущеного шпона; задать параметры расчетного пакета шпона, не противоречащие требованиям к лущеному шпону; разработать имитационную модель объекта управления с переменными T , P и W ; реализовать *PID*- и нечеткую структуры регулирования в *MATLAB Simulink*; сравнить результаты регулирования по максимальной температуре, превышению давления, итоговому влагосодержанию и интегральным показателям ошибки.

Научная новизна работы состоит в использовании расчетного влагосодержания W как дополнительной входной переменной нечеткого регулятора. В предложенной структуре переменные T , P и W используются совместно, а нечеткий регулятор формирует корректирующие воздействия dT и dP для команд $Tcmd$ и $Pcmd$. При этом W не рассматривается как отдельный

исполнительный канал, а используется как расчетная характеристика состояния пакета шпона.

Материалы и методика исследования

В качестве объекта исследования рассматривается процесс горячего прессования фанеры общего назначения. Для численного эксперимента принят условный пакет лущеного березового шпона с термореактивным клеевым составом карбамидоформальдегидного типа. Береза выбрана как распространенная листовая порода, применяемая в отечественном производстве фанеры [2]. Упоминания пород древесины, нехарактерных для рассматриваемой постановки, в расчетной модели не используются.

Для расчетного примера принята номинальная толщина одного листа лущеного шпона 1,5 мм. Данное значение находится в диапазоне толщин, предусмотренных для лущеного шпона из листовых пород, и используется как технологически допустимый параметр расчетной модели [1]. Начальное влагосодержание шпона принято равным 10 %, а целевое расчетное влагосодержание пакета в модели составляет 6,5 %. При переходе к конкретной производственной линии параметры τT , $kDry$, $Tref$, продолжительность выдержки и масштаб нормирования ошибок должны уточняться с учетом фактической толщины шпона, слойности фанеры, марки клея и режима прессования.

Свойства клеевого состава являются важным фактором горячего прессования. Исследования модифицированных карбамидоформальдегидных клеев и взаимодействия связующего с древесиной показывают, что состав и свойства связующего влияют на прочность клеевого соединения и технологические свойства клея [8; 9]. Поэтому в данной работе клеевой состав учитывается не через отдельную химическую модель отверждения, а через выбранные параметры имитационной модели и режим температурно-давленческого воздействия.

В модели используются переменные T , P и W , где T – температура расчетной зоны пакета шпона, P – удельное давление прессования, W – расчетное влагосодержание пакета. Управляющими командами являются $Tcmd$ и $Pcmd$. Для численного эксперимента заданы $Tref = 125$ °C, $Pref = 1,20$ МПа и $Wtarget = 6,5$ %. Начальные условия составляют $T_{init} = 25$ °C, $P_{init} = 0$ МПа и $W_{init} = 10$ %.

Таблица 1. Параметры численного эксперимента

Параметр	Обозначение в MATLAB	Значение	Единица
Целевая температура пакета	T_{ref}	125	С
Целевое давление прессования	P_{ref}	1,20	МПа
Начальная температура пакета	T_{init}	25	С
Начальное давление	P_{init}	0	МПа
Начальное влагосодержание	W_{init}	10	%
Целевое влагосодержание	W_{target}	6,5	%
Постоянная времени прогрева	τT	350	с
Постоянная времени давления	τP	25	с
Коэффициент влияния давления	k_{PT}	0,012	–
Коэффициент влияния влаги	k_{WT}	0,004	–
Коэффициент влагоудаления	k_{Dry}	0,0035	–
Температурный порог влагоудаления	T_{evap}	80	С
Нижний предел влагосодержания	W_{eq}	5	%
Минимальная команда температуры	T_{cmd_min}	100	С
Максимальная команда температуры	T_{cmd_max}	140	С
Минимальная команда давления	P_{cmd_min}	0,8	МПа
Максимальная команда давления	P_{cmd_max}	1,6	МПа

Толщина шпона в данной постановке не вводится как отдельная переменная нечеткого регулятора, однако она влияет на физический смысл параметров модели. При увеличении толщины шпона и числа слоев возрастает тепловая инерционность пакета, увеличивается запаздывание прогрева центральной зоны и изменяется интенсивность влагоудаления. Поэтому в имитационной модели влияние толщины учитывается косвенно через параметры τT , k_{Dry} и начальные условия по W . Такой подход позволяет сохранить простую структуру регулятора и одновременно не исключать технологическую роль толщины шпона.

Для описания объекта использована упрощенная динамическая модель. Она необходима для сравнения алгоритмов управления и не заменяет детальную физическую модель теплопереноса. В реальном процессе температура и влагосодержание изменяются по толщине пакета неравномерно, а характер прогрева зависит от толщины шпона, числа слоев, влажности и свойств клеевого состава [1; 8; 11].

Поэтому предложенная модель рассматривается как имитационная основа для проверки алгоритма управления, а не как окончательное описание конкретной промышленной линии.

Математическая модель и структура системы управления

Температурная динамика описывается выражением:

$$T^* = (T_{cmd} - T) / \tau T + k_{PT} \cdot (P - P_{ref}) - k_{WT} \cdot \max(W - W_{target}, 0).$$

Динамика давления представляется выражением:

$$P^* = (P_{cmd} - P) / \tau P.$$

Изменение расчетного влагосодержания определяется выражением:

$$W^* = -k_{Dry} \cdot \max(T - T_{evap}, 0) / 100 \cdot \max(W - W_{eq}, 0).$$

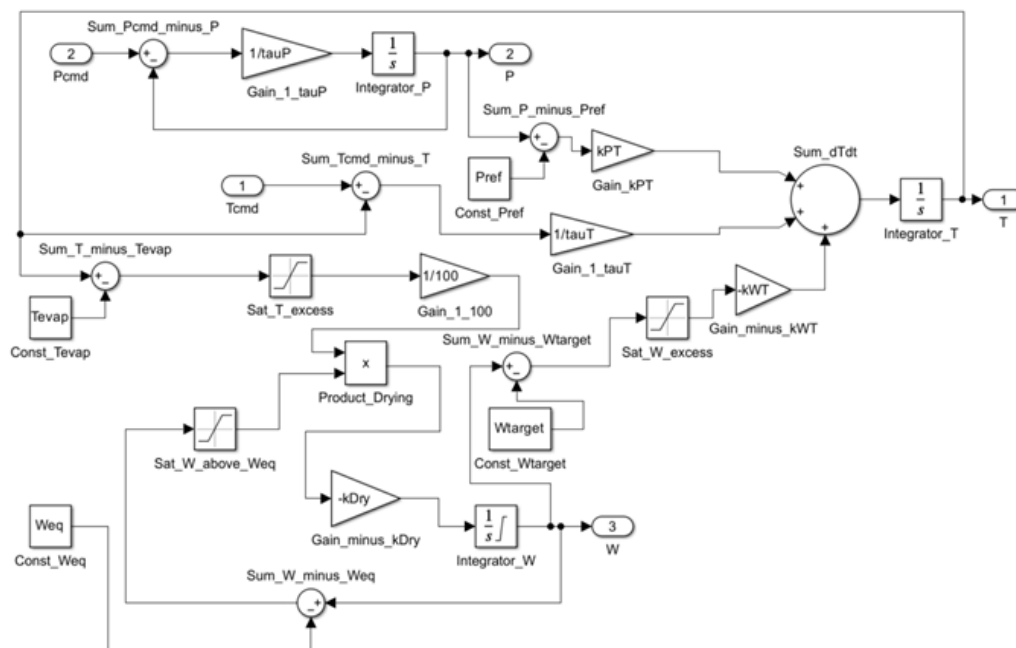


Рис. 1. Структура подсистемы *Plant_Fuzzy*, описывающей динамику T , P и W

В приведенных выражениях τT и τP задают инерционность температурного и силового каналов. Значение τT связано с медленным прогревом пакета шпона, а τP отражает более быстрый отклик гидравлической системы прессы. Коэффициент kPT задает влияние давления на температурный канал через изменение контакта между слоями шпона. Коэффициент kWT учитывает замедление прогрева при повышенном расчетном влагосодержании. Коэффициент $kDry$ задает интенсивность снижения W при достаточном нагреве пакета. Порог T_{evap} используется для включения влагоудаления только после достижения необходимого температурного уровня, а W_{eq} ограничивает снижение расчетного влагосодержания снизу.

Подсистема *Plant_Fuzzy* представляет собой имитационную модель объекта управления в ветви нечеткого регулирования. На ее вход подаются управляющие команды T_{cmd} и P_{cmd} , а на выходе формируются переменные состояния T , P и W . Внутри подсистемы реализованы три динамических канала: температурный канал, канал давления и канал расчетного влагосодержания. Таким образом, *Fuzzy Controller* формирует управляющие воздействия, а *Plant_Fuzzy* рассчитывает реакцию объекта управления на эти воздействия.

Модель реализована в *MATLAB Simulink* с

использованием *Fuzzy Logic Toolbox* [12]. Для сравнения построены две структуры управления: независимое *PID*-регулирование температуры и давления и нечеткое регулирование типа *Mamdani*.

В *PID*-схеме используются ошибки:

$$\begin{aligned} eT_{PID} &= T_{ref} - T, \\ eP_{PID} &= P_{ref} - P. \end{aligned}$$

PID-регуляторы использованы как базовый вариант независимого управления температурой и давлением. Их задача заключается в формировании команд T_{cmd} и P_{cmd} на основе ошибок eT_{PID} и eP_{PID} без использования переменной W во входе регулятора. Такая структура выбрана для сравнения с нечетким регулятором, в котором дополнительно учитывается расчетное состояние пакета шпона через переменную eW .

Параметры *PID*-регуляторов принимались по настройкам блоков *Simulink*: для температурного канала: $P = 0,5$, $I = 0,0006$, $D = 0$; для канала давления – $P = 0,4$, $I = 0,015$, $D = 0$.

В нечеткой схеме используются нормированные ошибки:

$$\begin{aligned} eT &= (T_{ref} - T) / dT_{max}, \\ eP &= (P_{ref} - P) / dP_{max}, \end{aligned}$$

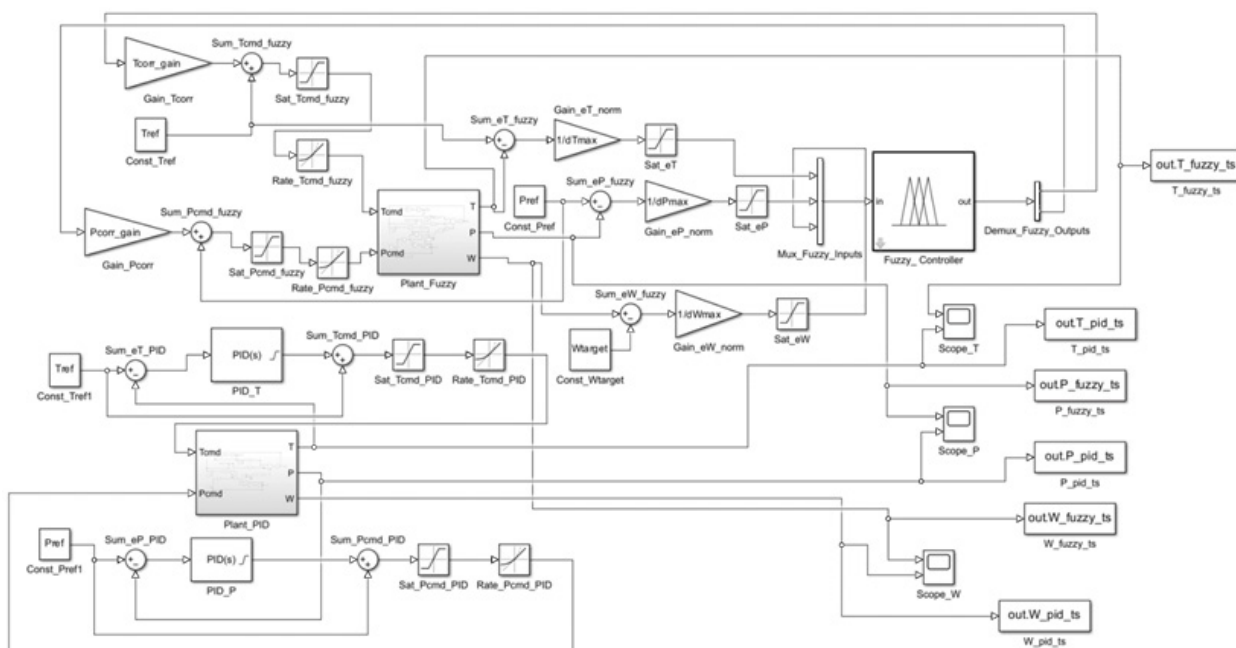
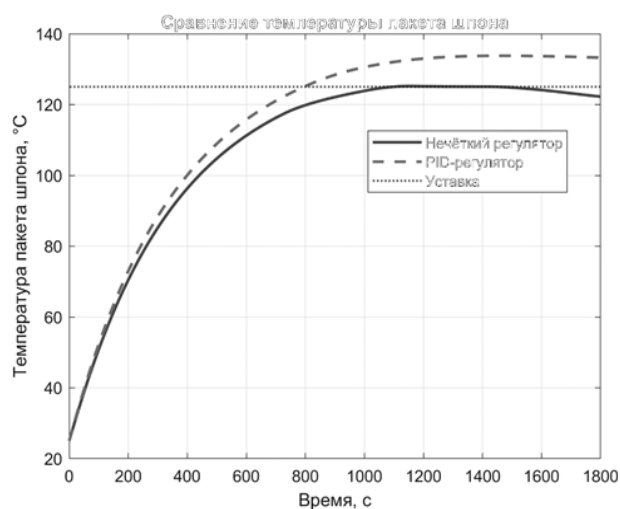
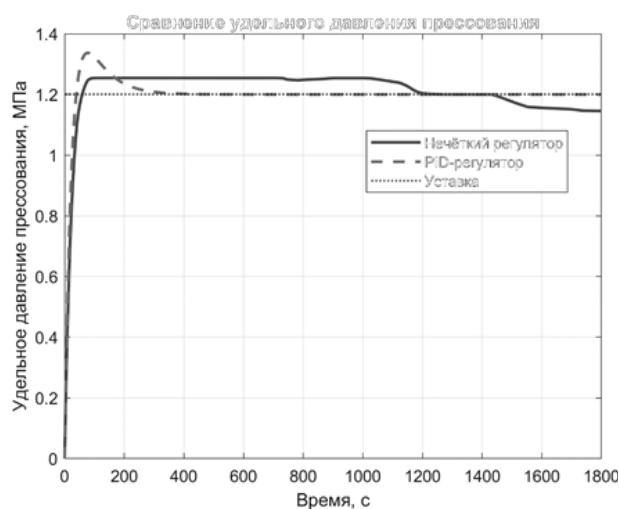


Рис. 2. Итоговая модель с двумя ветками PID и Fuzzy

Рис. 3. Сравнение изменения температуры T при PID- и нечетком регулировании относительно T_{ref} Рис. 4. Сравнение изменения давления P при PID- и нечетком регулировании относительно P_{ref}

$$eW = (W - W_{target}) / dW_{max}.$$

Выходами нечеткого регулятора являются dT и dP . После масштабирования управляющие команды рассчитываются по формулам:

$$T_{cmd} = T_{ref} + dT \cdot T_{corr_gain},$$

$$P_{cmd} = P_{ref} + dP \cdot P_{corr_gain}.$$

Для входных переменных eT , eP и eW ис-

пользуются термы N , Z и P . Для выходных переменных dT и dP используются термы DB , DS , Z , IS и IB . В системе нечеткого вывода применен алгоритм *Mamdani* с дефазификацией методом *centroid* [10; 12].

Для входных переменных eT , eP и eW использованы три функции принадлежности: N – *trapmf* $[-1; -1; -0,5; -0,1]$, Z – *trimf* $[-0,25; 0; 0,25]$, P – *trapmf* $[0,1; 0,5; 1; 1]$. Для выходных переменных dT и dP использованы пять термов:

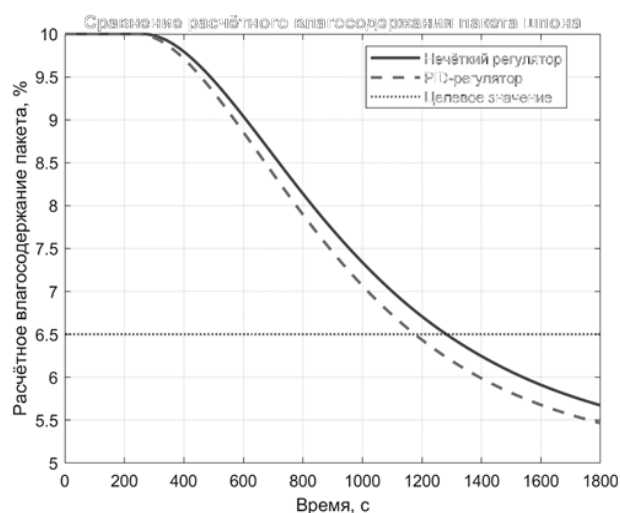


Рис. 5. Сравнение изменения расчетного влагосодержания W при PID - и нечетком регулировании относительно W_{target}

Таблица 2. Сравнение результатов PID - и нечеткого регулирования

Показатель	PID -регулирование	Нечеткое регулирование
Максимальная температура T , °C	133,80	125,22
Превышение T относительно T_{ref} , °C	8,8021	0,21612
Итоговая температура T , °C	133,26	122,26
Максимальное давление P , МПа	1,3372	1,2545
Превышение P относительно P_{ref} , МПа	0,13718	0,054521
Итоговое давление P , МПа	1,20000	1,1459
Итоговое влагосодержание W , %	5,4663	5,6733
Отклонение W от W_{target} , %	1,0337	0,82671
Время достижения W_{target} , с	1176,7	1282,5
IAE температуры	33 505	30 121
IAE давления	33,368	93,324
IAE влагосодержания	2944,4	2996,6

DB , DS , Z , IS и IB , задающие соответственно сильное уменьшение, небольшое уменьшение, отсутствие изменения, небольшое увеличение и сильное увеличение управляющего воздействия. База правил сформирована таким образом, чтобы корректировка T_{cmd} и P_{cmd} зависела от совместного состояния T , P и W .

Результаты исследования и обсуждение

Моделирование выполнялось на интервале 1800 с. Начальные условия составляли $T_{init} = 25$ °C, $P_{init} = 0$ МПа и $W_{init} = 10$ %. Целе-

вые значения были заданы как $T_{ref} = 125$ °C, $P_{ref} = 1,20$ МПа и $W_{target} = 6,5$ %. Расчетный пример соответствует пакету лущеного березового шпона номинальной толщиной 1,5 мм с термореактивным клеевым составом. Такая постановка позволяет оценить, как выбор алгоритма управления влияет на температурный режим, давление и изменение W без привязки модели к одной конкретной промышленной линии [1; 8; 11].

При PID -регулировании температура возрастает быстрее, однако это сопровождается превышением заданного значения. Максималь-

ная температура при *PID*-регулировании составила 133,80 °C, тогда как при нечетком регулировании – 125,22 °C. Превышение температуры относительно *Tref* составило 8,8021 °C для *PID*-регулятора и 0,21612 °C для нечеткого регулятора. Следовательно, нечеткий регулятор обеспечивает более мягкий температурный режим.

Максимальное давление при *PID*-регулировании составило 1,3372 МПа, при нечетком регулировании – 1,2545 МПа. Превышение давления относительно *Pref* составило 0,13718 МПа для *PID*-регулятора и 0,054521 МПа для нечеткого регулятора. Это показывает, что нечеткий регулятор снижает начальное перерегулирование давления и формирует более мягкий выход на рабочий режим. При этом по интегральной ошибке давления *PID*-регулятор показывает лучший результат, что связано с более быстрым выходом давления к *Pref*.

В обоих случаях *W* снижается по мере прогрева. *PID*-регулятор достигает *Wtarget* быстрее: время достижения составило 1176,7 с для *PID*-регулирования и 1282,5 с для нечеткого регулирования. Однако более быстрое снижение *W* при *PID*-регулировании связано с более высоким температурным воздействием. Итоговое значение *W* составило 5,4663 % при *PID*-регулировании и 5,6733 % при нечетком регулировании. Отклонение итогового значения *W* от *Wtarget* составило 1,0337 % для *PID*-регулятора и 0,82671 % для нечеткого регулятора.

Результаты показывают, что независимое *PID*-регулирование обеспечивает более быстрое снижение *W* и лучшее следование заданному давлению *Pref*. Однако это достигается более агрессивным характером переходного процесса: максимальная температура при *PID*-регулировании выше на 8,58 °C, а превышение давления больше, чем при нечетком регулировании. Нечеткий регулятор, использующий входы *eT*, *eP* и *eW*, снижает перегрев, уменьшает пиковое превышение давления и обеспечивает итоговое значение *W*, более близкое к *Wtarget*.

Следовательно, преимущество нечеткого регулятора в данной постановке заключается не в максимальном быстродействии, а в более мягкой и согласованной коррекции режима горячего прессования. Это соответствует технологической задаче производства фанеры, где важны не только скорость выхода на уставку, но и снижение экстремальных отклонений температуры и давления, влияющих на условия формирования клеевого соединения [8–10].

Выводы

В статье разработана имитационная модель многоконтурного нечеткого регулирования процесса горячего прессования при производстве фанеры. В качестве расчетного объекта принят пакет лущеного березового шпона номинальной толщиной 1,5 мм с термореактивным клеевым составом. Такая постановка согласуется с технологической практикой отечественного фанерного производства и позволяет связать модель управления с параметрами реального процесса.

Разработанная модель реализована в *MATLAB Simulink* и использует переменные *T*, *P* и *W* для описания состояния пакета шпона. Управляющими воздействиями являются команды *Tcmd* и *Pcmd*, а расчетное влагосодержание *W* используется как дополнительная входная информация для нечеткого регулятора. Тем самым показан способ включения нечеткой логики в систему управления горячим прессованием без введения отдельного исполнительного канала по влагосодержанию.

Сравнение с независимым *PID*-регулированием показало, что *PID*-регулятор быстрее достигает *Wtarget* и имеет меньшую интегральную ошибку давления. Однако нечеткий регулятор обеспечивает более мягкий режим прессования: максимальная температура снижается со 133,80 до 125,22 °C, превышение давления уменьшается с 0,13718 до 0,054521 МПа, а итоговое значение *W* оказывается ближе к *Wtarget*.

Полученные результаты соответствуют поставленной цели: разработана имитационная модель нечеткого регулирования температуры и давления горячего прессования с учетом расчетного влагосодержания пакета шпона, а также выполнено сравнение с *PID*-регулированием. Нечеткая логика показала целесообразность именно как инструмент согласованной коррекции многопараметрического процесса, а не как универсальная замена *PID*-регуляторов по всем критериям.

Дальнейшие исследования целесообразно направить на уточнение параметров модели по экспериментальным данным конкретного фанерного производства, учет фактической толщины и слоистости пакета, типа клеевого состава, характеристик прессового оборудования и режимов горячего прессования на промышленных линиях.

Литература

1. ГОСТ 99-2016. Шпон лущеный. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2016.
2. ГОСТ 3916.1-2018. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона листовенных пород. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2019. – 19 с.
3. ГОСТ 9621-72. Древесина слоистая клееная. Методы определения физических свойств. – М. : Издательство стандартов, 1999. – 4 с.
4. ГОСТ 9624-2009. Древесина слоистая клееная. Метод определения предела прочности при скалывании. – М. : Стандартинформ, 2010.
5. Гречушников, В.В. Синтез алгоритма автоматизированной подстройки параметров процесса сушки пиломатериалов / В.В. Гречушников, А.А. Шилин, С.В. Прохоров // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335. – № 6. – С. 75–88. – DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4500. – EDN: EPM DZI.
6. Липатов, М.С. Создание комбинированной модели сортировки листового шпона / М.С. Липатов, О.Г. Матвеева, Б.М. Шифрин, И.В. Елисеев, В.А. Соколова, В.А. Марков // Системы. Методы. Технологии. – 2025. – № 3(67). – С. 73–79. – DOI: 10.18324/2077-5415-2025-3-73-79. – EDN: JAQTDK.
7. Турбал, Е.Ю. Подход к разработке модели сушки пиломатериалов на основе нечеткой логики / Е.Ю. Турбал, Б.М. Шифрин, Д.А. Попова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 7-1(121). – С. 111–114. – DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.015. – EDN: ELMHFW.
8. Чубинский, А.Н. Исследование свойств модифицированных карбамидоформальдегидных клеев для изготовления фанеры / А.Н. Чубинский, Д.С. Русаков, Г.С. Варанкина, Л.Н. Русакова // Лесной вестник / Forestry Bulletin. – 2018. – Т. 22. – № 5. – С. 103–112. – DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-103-112. – EDN: YOKOZN.
9. Русаков, Д.С. Теоретическое и экспериментальное обоснование характера взаимодействия модифицированных связующих с древесиной / Д.С. Русаков, Г.С. Варанкина, А.Н. Чубинский // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2022. – № 6. – С. 153–163. – DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-153-163. – EDN: NYMKLC.
10. Шифрин, Б.М. Использование нечетких регуляторов в мехатронике / Б.М. Шифрин, И.В. Елисеев // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2021. – № 11. – С. 22–25. – DOI: 10.26160/2309-8864-2021-11-22-25. – EDN: UEVCYA.
11. Bekhta, P. Effects of Selected Parameters on the Bonding Quality and Temperature Evolution Inside Plywood During Pressing / P. Bekhta, J. Sedláčik, N. Bekhta // Polymers. – 2020. – Vol. 12. – No. 5. – Art. 1035. – DOI: 10.3390/polym12051035. – EDN: NNJPYS.
12. MathWorks. Fuzzy Logic Toolbox Documentation. Natick, MA: The MathWorks, Inc. [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.mathworks.com/help/fuzzy>.

References

1. GOST 99-2016. SHpon lushchenij. Tekhnicheskie usloviya. – M. : Standartinform, 2016.
2. GOST 3916.1-2018. Fanera obshchego naznacheniya s naruzhnymi sloyami iz shpona listvennykh porod. Tekhnicheskie usloviya. – M. : Standartinform, 2019. – 19 s.
3. GOST 9621-72. Drevesina sloistaya kleenaya. Metody opredeleniya fizicheskikh svojstv. – M. : Izdatelstvo standartov, 1999. – 4 s.
4. GOST 9624-2009. Drevesina sloistaya kleenaya. Metod opredeleniya predela prochnosti pri skalyvanii. – M. : Standartinform, 2010.
5. Grechushnikov, V.V. Sintez algoritma avtomatizirovannoj podstrojki parametrov protsessa sushki pilomaterialov / V.V. Grechushnikov, A.A. SHilin, S.V. Prokhorov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. – 2024. – T. 335. – № 6. – S. 75–88. – DOI: 10.18799/24131830/2024/6/4500. – EDN: EPM DZI.
6. Lipatov, M.S. Sozdanie kombinirovannoj modeli sortirovki listovogo shpona / M.S. Lipatov, O.G. Matveeva, B.M. SHifrin, I.V. Eliseev, V.A. Sokolova, V.A. Markov // Sistemy. Metody. Tekhnologii. – 2025. – № 3(67). – S. 73–79. – DOI: 10.18324/2077-5415-2025-3-73-79. – EDN:

JAQTDK.

7. Turbal, E.YU. Podkhod k razrabotke modeli sushki pilomaterialov na osnove nechetkoj logiki / E.YU. Turbal, B.M. SHifrin, D.A. Popova // *Mezhdunarodnij nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. – 2022. – № 7-1(121). – S. 111–114. – DOI: 10.23670/IRJ.2022.121.7.015. – EDN: ELMHFW.

8. CHubinskij, A.N. Issledovanie svojstv modifitsirovannykh karbamidoformaldegidnykh kleev dlya izgotovleniya fanery / A.N. CHubinskij, D.S. Rusakov, G.S. Varankina, L.N. Rusakova // *Lesnoj vestnik / Forestry Bulletin*. – 2018. – T. 22. – № 5. – S. 103–112. – DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-103-112. – EDN: YOKOZN.

9. Rusakov, D.S. Teoreticheskoe i eksperimentalnoe obosnovanie kharaktera vzaimodejstviya modifitsirovannykh svyazuyushchikh s drevesinoj / D.S. Rusakov, G.S. Varankina, A.N. CHubinskij // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Lesnoj zhurnal*. – 2022. – № 6. – S. 153–163. – DOI: 10.37482/0536-1036-2022-6-153-163. – EDN: HYMKLC.

10. SHifrin, B.M. Ispolzovanie nechetkikh regulyatorov v mekhatronike / B.M. SHifrin, I.V. Eliseev // *Avtomatizirovannoe proektirovanie v mashinostroenii*. – 2021. – № 11. – S. 22–25. – DOI: 10.26160/2309-8864-2021-11-22-25. – EDN: UEVCYA.

© Н.А. Иванов, Ш.Ж. Шайдинов, Б.М. Шифрин, И.В. Елисеев, 2026

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И АКТОРНОЙ МОДЕЛИ В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ И ОПТИМИЗАЦИИ ТРАФИКА. ЧАСТЬ 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ И ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ

М.А. КРАВЦОВ, Р.Н. МУТАЛИБОВ, Е.О. ПЕТРЕНКО

ФГБУН «Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук»;
ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: распределенные системы управления; акторная модель; искусственный интеллект; машинное обучение; обучение с подкреплением; графовые нейронные сети; маршрутизация; инженерия трафика; программно-конфигурируемые сети; мультиагентные системы.

Аннотация: Рост объема и изменчивости сетевого трафика делает все более острым противоречие между двумя требованиями к плоскости управления: она должна оставаться распределенной и отказоустойчивой и одновременно принимать решения, которые подстраиваются под текущую нагрузку. Настоящая статья – первая из двух – посвящена постановке этой проблемы и критическому разбору подходов к ее решению. Последовательно рассматриваются классические протоколы маршрутизации и методы инженерии трафика, обучение с подкреплением и графовые нейронные сети в задачах маршрутизации, акторная модель вычислений как способ построить распределенное управление и мультиагентное обучение. Обзор показывает, что распределенность акторной модели и адаптивность обучаемых политик до сих пор развивались порознь, а архитектуры, где они соединены, в литературе по существу нет. Выявление и анализ этого пробела и составляют содержание работы.

Введение

Современные сети работают под нагрузкой, которая еще десятилетие назад показалась бы аномальной. Сети пятого поколения, интернет вещей, потоковое видео и облачные сервисы сместили характерный масштаб изменения матрицы спроса к секундам и минутам, а саму нагрузку сделали плохо предсказуемой. Внутридоменные протоколы вроде *OSPF* и *IS-IS* с такой динамикой справляются неохотно: они прокладывают кратчайшие пути по статически заданным весам каналов и не пытаются оптимизировать распределение потоков в целом. *ECMP* отчасти сглаживает картину, разнося тра-

фик по равнозначным путям, но делает это хешированием заголовков – вслепую к реальной загрузке, и в неоднородных топологиях это обобщается перекосом нагрузки и перегрузками там, где рядом простаивают альтернативные маршруты.

Инженерия трафика на основе *MPLS-TE* дает больше свободы: явные туннели вместе с линейным программированием позволяют подойти к оптимальному распределению потоков вплотную. Плата за это – централизация и работа офлайн: задача решается для заранее известной матрицы трафика, а любое заметное изменение условий требует пересчета и глобальной перенастройки. Программно-конфигурируемые

сети (*SDN*), отделившие управление от передачи данных [1] (принципы и характеристики *OpenFlow* подробно разобраны и в отечественной литературе [2]), упростили сбор телеметрии и программирование пересылки, но трудность не сняли, а лишь сместили: теперь узким местом и единой точкой отказа становится сам логически централизованный контроллер, а его физическая централизация плохо уживается с географически распределенными сетями операционного класса.

За этими техническими ограничениями стоит более общий сдвиг – от сетей, которые настраивает и подстраивает человек, к сетям, способным управлять собой. Ручная настройка весов и туннелей плохо масштабируется на десятки доменов и не поспевает за спросом, меняющимся в масштабе минут; отсюда устойчивый интерес к «самоуправляемым» сетям, где решения по маршрутизации вырабатываются автоматически и непрерывно. Именно в этом контексте распределенность и обучаемость перестают быть взаимоисключающими требованиями и оказываются двумя гранями одной задачи.

Выход из противоречия – система управления, которая была бы распределенной ради масштабируемости и устойчивости и вместе с тем достаточно «умной», чтобы подстраиваться под обстановку. Мы связываем для этого два направления, которые обычно рассматривают по отдельности. Первое – акторная модель вычислений [3; 4]: система собирается из независимых акторов, общающихся только асинхронными сообщениями и не разделяющих память. Воплощенная в *Erlang/OTP* [5] и *Akka/Akka.NET* [6], она давно доказала пригодность в телекоммуникациях высокой готовности – за счет супервизии, прозрачной адресации и естественной конкурентности. Второе – машинное обучение, прежде всего глубокое обучение с подкреплением [7; 8] и графовые нейронные сети [9], которые умеют выучивать близкие к оптимальным правила маршрутизации прямо из наблюдений [10].

Замысел работы прост в формулировке: акторная модель служит отказоустойчивым распределенным каркасом плоскости управления, а обучаемые модели – «начинкой», принимающей решения внутри акторов. Так по узлам сети расходится не только вычислительная нагрузка, но и сама логика оптимизации, а согласованность поведения удерживается обменом сообщениями между акторами.

Работа состоит из двух частей. В настоящей (первой) части ставится проблема и разбираются существующие подходы; концепция распределенной системы управления и ее экспериментальная проверка рассматриваются в продолжении.

Цель настоящей части – сформулировать проблему адаптивной маршрутизации в распределенных системах управления и разобрать имеющиеся подходы к ней. Отсюда четыре задачи: очертить пределы классической маршрутизации и инженерии трафика; упорядочить методы машинного обучения применительно к маршрутизации; оценить акторную модель как основу распределенного управления и рассмотреть мультиагентное обучение; наконец, обозначить нерешенный вопрос, определяющий дальнейшую работу.

Обзор существующих подходов

Классические методы маршрутизации и инженерии трафика

Классическая внутрисетевая маршрутизация опирается на протоколы состояния каналов – *OSPF* и *IS-IS*. Каждый маршрутизатор держит у себя полную карту сети и независимо считает кратчайшие пути по Дейкстре, опираясь на административные веса каналов. Схема быстро сходится и хорошо переживает отказы, но у нее есть врожденный изъян: пути зависят только от топологии и весов, а не от того, сколько трафика идет по сети в данную минуту. *ECMP* добавляет расщепление потока по нескольким равноценным путям, однако конкретный путь выбирается хешированием полей заголовка – то есть без оглядки на загрузку. На симметричных топологиях это работает сносно, но стоит спросу или структуре сети стать асимметричными, как нагрузка ложится неровно, и возникают локальные перегрузки при свободных соседних маршрутах.

Более тонкий контроль дает инженерия трафика. *MPLS-TE* позволяет прокладывать явные туннели с учетом пропускной способности, а формально задача сводится к многопродуктовому потоку: спрос нужно разнести по путям так, чтобы минимизировать выбранный показатель – чаще всего максимальную загрузку канала, – не нарушая ограничений пропускной способности. Решенная линейным программированием, такая задача дает распределение, вплотную подходящее к теоретическому опти-

муму. Но качество это дорогое: нужно централизованно знать всю матрицу трафика (а ее еще надо оценить), вычисления небыстры, и при первом же заметном сдвиге спроса результат устаревает и требует пересчета. Настройка тех же весов *OSPF* под заданную матрицу – сама по себе *NP*-трудная задача, столь же хрупкая к изменениям. Иначе говоря, классические методы либо распределены, но «слепы» к нагрузке, либо оптимальны, но централизованы и статичны.

Отдельная сложность классической инженерии трафика – сама матрица трафика: измерить ее напрямую в крупной сети трудно, а оценки по счетчикам каналов неоднозначны и запаздывают. Чтобы не зависеть от точного знания спроса, предлагались схемы устойчивой (*oblivious*) маршрутизации, оптимизирующей худший случай по целому классу допустимых матриц; платой за устойчивость становится потеря качества на типичных режимах. Как ни планируй распределение заранее, оно остается статическим срезом, тогда как реальный спрос дрейфует, – и именно этот разрыв между офлайн-планом и онлайн-обстановкой подталкивает к обучаемым методам, реагирующим на текущее состояние.

Практика не стоит на месте: сегментная маршрутизация (*segment routing*) переносит выбор пути в заголовок пакета, упрощая инженерии трафика без громоздкой сигнализации, а телеметрия реального времени дает все более подробную картину загрузки. И все же сам принцип – заранее вычислить конфигурацию и затем ее применить – сохраняется, а вместе с ним и его слабое место: реакция на изменение спроса опаздывает ровно настолько, насколько велик цикл «измерить – пересчитать – применить».

Машинное обучение в задачах маршрутизации

Обучение с подкреплением подходит к маршрутизации с другой стороны: агент не следует заранее заданному правилу, а вырабатывает стратегию сам, пробуя действия и получая за них скалярное вознаграждение, без явной модели среды [7]. Задачу естественно записать как марковский процесс принятия решений, где состояние – это загрузка каналов и спрос, действие – настройка маршрутизации, а вознаграждение – целевые метрики инженерии трафика. Сама идея не нова: еще алгоритм *Q-routing* [11] заставлял каждый узел оценивать время достав-

ки до адресата и выбирать по этой оценке следующий переход. Такие методы долго ограничивала размерность – пока ее не снял переход к глубоким сетям. Отечественные работы того же периода предлагали применять искусственные нейронные сети для управления коммутацией и маршрутизацией в сетях передачи данных [12].

Толчком послужили глубокие *Q*-сети, впервые справившиеся с управлением в пространствах высокой размерности [8]. За ними пришло целое семейство алгоритмов: асинхронные схемы «актор – критик», где несколько агентов учатся параллельно и тем декоррелируют опыт [13]; методы, страхующие обучение от слишком больших шагов обновления политики; детерминированные градиентные методы для непрерывных действий. Различаются они прежде всего аппетитом к данным и устойчивостью обучения – и эти различия важны для маршрутизации, где действие бывает и дискретным (какой путь выбрать), и непрерывным (в какой пропорции расщепить поток).

Приложений к инженерии трафика накопилось достаточно, чтобы говорить о сложившемся направлении; обзор [10] делит его на оптимизацию маршрутизации, управление перегрузками и распределение ресурсов. Показателен метод *CFR-RL* [14]: вместо того чтобы перекраивать всю маршрутизацию, он обучается выбирать небольшое подмножество «критических» потоков для перенаправления и этим почти достигает оптимума ЛП малой ценой. В том же ключе – управление лишь критическими узлами ради масштабируемости [15], реконфигурируемая по каналам *DRL*-маршрутизация [16], ускорение оптимизации крупных глобальных сетей в методе *Teal* [17] и обучаемое распределение потоков в *SD-WAN* при нестабильных каналах [18]; адаптивное управление трафиком в *SDN* на основе машинного обучения рассматривается и в отечественных исследованиях [19]. Итог этих работ общий: качество, близкое к оптимуму ЛП, но за время инференса, а не пересчета; открытыми остаются переносимость политик, их устойчивость на нетипичных входах и цена телеметрии.

Перенос обучения с подкреплением из симулятора в работающую сеть сопряжен с собственными трудностями, о которых стоит сказать отдельно. Функцию вознаграждения приходится конструировать вручную, балансируя загрузку, задержку и потери, и ее форма ощутимо влияет на итоговую политику. Обу-

чение требует множества проб, а исследовать пространство действий на боевом трафике рискованно: ошибочное действие оборачивается реальными потерями пакетов, поэтому обучение обычно ведут в симуляции и затем сталкиваются с расхождением между моделью и действительностью. Наконец, выученная политика ведет себя как «черный ящик», и ее реакции на редкие, не представленные в обучающих данных, режимы трудно гарантировать – для сетей операторского класса это самостоятельная проблема.

Особое место в этом ряду занимают графовые нейронные сети: они снимают главное препятствие для нейросетевых политик в сетях – привязку к конкретной топологии. Передавая сообщения вдоль ребер графа и агрегируя их перестановочно-инвариантно, такая сеть строит представление узла из его окрестности, а не из абсолютной позиции в фиксированной решетке, и потому обученная модель переносится на сети другого размера и структуры. Модель *RouteNet* [20] и ее развитие *RouteNet-Fermi* [21] используют это, чтобы по топологии, схеме маршрутизации и входному трафику предсказывать задержку, джиттер и потери; такой энкодер служит и дифференцируемой моделью сети для оптимизации, и источником признаков для самой политики.

Сложился и относительно устойчивый способ проверять подобные методы. В качестве сетей берут эталонные топологии из открытых репозиторий, спрос порождает гравитационной моделью с управляемым уровнем нагрузки, а качество измеряют прежде всего нормированной максимальной загрузкой канала и средней задержкой, сопоставляя обучаемый метод и с классической маршрутизацией, и с оптимумом линейного программирования как верхней границей. Такая методика делает результаты воспроизводимыми и сравнимыми между работами и задает естественную систему координат для оценки нового подхода.

Акторная модель и распределенные системы управления

Акторная модель описывает вычисление как множество акторов – сущностей, каждая из которых, получив сообщение, может послать сообщения другим, породить новых акторов и сменить собственное поведение к следующему сообщению [3; 4]. Общей памяти нет, поэтому исчезают гонки, а рассуждать о корректности конкурентной программы становится проще.

Применимость такой организации к управлению с обратной связью, в том числе вместе с обучением с подкреплением, показана, например, в задачах управления цепями поставок [22], а систематически связь акторов с мульти-агентными системами разобрана в [23].

Практическую ценность модели придает инженерия надежности, выстроенная вокруг нее в *Erlang/OTP* [5] и *Akka/Akka.NET* [6]. Сбой здесь не маскируют, а изолируют по принципу «пусть падает»: упавший актор перезапускает его супервизор, не трогая остальную систему; код обновляют «на горячую», а сами акторы прозрачно разнесены по узлам кластера с единой адресацией. По этой причине модель и прижилась в телекоммуникациях, где перерыв в обслуживании недопустим; в более поздней формализации она прямо трактуется как основа масштабируемых и устойчивых информационных систем [24]. Для плоскости управления сетью это именно те свойства, которых не хватает централизованному контроллеру: конкурентность, устойчивость к частичным отказам и распределенность без единой точки отказа.

К управлению сетями акторный подход близок не случайно. Логика распределенного контроллера *SDN* естественно раскладывается на акторы: узловой агент отвечает за свой коммутатор, доменный – за согласование, а взаимодействие между ними есть обмен сообщениями без общей памяти – ровно как в акторной модели. Такая декомпозиция роднит плоскость управления с событийно-ориентированными системами, где устойчивость держится не на блокировках и общих структурах данных, а на изоляции и супервизии. Эта близость и делает акторный каркас удобной основой, поверх которой размещается обучаемая логика принятия решений.

Стоит сказать и о вычислительной стороне. Акторные платформы рассчитаны на очень большое число легких акторов – счет идет на миллионы на узел – с отдельными почтовыми очередями и планировщиком, поэтому отображение «один узловой актор на коммутатор» не создает проблем масштаба. Механизмы обратного давления и ограничения очередей позволяют системе деградировать предсказуемо при перегрузке, а не обваливаться, что для плоскости управления не менее важно, чем само принятие решений.

Мультиагентное обучение с подкреплением

Как только решения начинают принимать

Таблица 1. Сравнение рассмотренных подходов к управлению маршрутизацией

Подход	Ключевые работы	Сильные стороны	Ограничения
Классическая маршрутизация (<i>OSPF/IS-IS, ECMP</i>)	–	простота, устойчивость, децентрализованность	нет глобальной оптимизации, не учитывает загрузку каналов
Инженерия трафика (<i>MPLS-TE, ЛП</i>)	–	распределение потоков, близкое к оптимуму	централизованность, работа офлайн, пересчет при изменении спроса
Централизованное <i>DRL</i> в <i>SDN</i>	[14; 15; 16; 17; 18]	адаптивность, качество, близкое к оптимуму	единая точка отказа, ограниченная масштабируемость
Графовые нейросетевые модели	[20; 21]	переносимость между топологиями, дифференцируемость	требуют обучения, зависят от качества данных
Акторные распределенные системы	[3; 4; 5; 6]	распределенность, супервизия, отказоустойчивость	сами по себе не оптимизируют маршрутизацию
Мультиагентное обучение (<i>CTDE</i>)	[25]	локальность исполнения, масштабируемость	нестационарность, сложность сходимости

несколько взаимодействующих агентов, задача становится мультиагентной, и наивное независимое обучение упирается в нестационарность: для каждого агента среда «плывет», потому что остальные учатся одновременно с ним. Смягчает это парадигма централизованного обучения при децентрализованном исполнении (*CTDE*) – например, алгоритм *MADDPG* [25], где критик во время обучения видит совместную информацию агентов, а исполняемые политики остаются локальными. Мультиагентное обучение с подкреплением активно развивается и в отечественных работах.

Помимо централизованного критика используют декомпозицию ценности, явную координацию и обучаемый обмен сообщениями между агентами. С ростом их числа обостряются распределение вознаграждения и сходимость, и на первый план выходят иерархические схемы и ограничение взаимодействия каждого агента его окрестностью. Для маршрутизации это удобно ложится на суть дела: агент опирается на локальное наблюдение и согласуется лишь с соседями – ровно с теми границами ответственности и тем обменом сообщениями, что и составляют акторную модель.

Отдельная ветвь мультиагентного обучения – методы с обучаемой коммуникацией, где агенты не просто действуют локально, но и вырабатывают, чем именно обмениваться с соседями. Для маршрутизации это особенно уместно: содержание сообщений между акторами – сводки загрузки, намерения по пере-

распределению потоков – можно не задавать вручную, а выучивать вместе с политикой. Тогда обмен сообщениями перестает быть чисто инженерным механизмом и становится частью обучаемой стратегии, что еще теснее связывает мультиагентное обучение с акторной организацией управления.

Сопоставление рассмотренных подходов

Свести обзор воедино удобно в сравнении. В табл. 1 основные семейства подходов сопоставлены по четырем свойствам – способности к глобальной оптимизации, адаптивности к спросу, распределенности и отказоустойчивости; даже беглый взгляд показывает, что сильные стороны одних закрывают слабости других.

Ни одно семейство не набирает всех четырех свойств разом. Классические протоколы распределены и устойчивы, но нагрузку не оптимизируют и к ней не приспосабливаются; централизованные обучаемые методы адаптивны и близки к оптимуму, но плохо масштабируются и держатся на уязвимом контроллере; акторная модель дает распределенность и живучесть, но сама ничего не оптимизирует. Отсюда и напрашивается их соединение.

Заключение

Обзор очертил проблему адаптивной маршрутизации в распределенных системах управления и показал расстановку сил. Классика

распределена и надежна, но глобально не оптимизирует и не следит за нагрузкой; линейное программирование оптимально, но централизованно и медленно; обучение с подкреплением и графовые сети дают адаптивность и переносимость политик; акторная модель – отказоустойчивый распределенный каркас, а принцип «обучаем централизованно, исполняем децен-

трализованно» ложится на нее почти без зазора.

Недостающее звено – архитектура, где акторный каркас отвечал бы за распределенность и живучесть плоскости управления, а обучаемые графовые политики – за адаптивность решений. Ее постановка, концепция и экспериментальная проверка составляют содержание продолжения работы.

Литература

1. McKeown, N. OpenFlow: enabling innovation in campus networks / N. McKeown, T. Anderson, H. Balakrishnan [et al.] // ACM SIGCOMM Computer Communication Review. – 2008. – Vol. 38. – No. 2. – P. 69–74. – DOI: 10.1145/1355734.1355746.
2. Коляденко, Ю.Ю. Программно-конфигурируемые сети на базе протокола OpenFlow и их характеристики / Ю.Ю. Коляденко, Е.Э. Белоусова // ScienceRise. – 2016. – № 3/2(20). – С. 11–16. – DOI: 10.15587/2313-8416.2016.64798. – EDN: VREUJX.
3. Hewitt, C. A universal modular ACTOR formalism for artificial intelligence / C. Hewitt, P. Bishop, R. Steiger // Proc. 3rd Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence (IJCAI), 1973. – P. 235–245.
4. Agha, G. Actors: A Model of Concurrent Computation in Distributed Systems / G. Agha. – Cambridge, MA : MIT Press, 1986. – 144 p. – DOI: 10.7551/mitpress/1086.001.0001.
5. Armstrong, J. Programming Erlang: Software for a Concurrent World / J. Armstrong. – Raleigh : Pragmatic Bookshelf, 2007. – 536 p.
6. Akka.NET: distributed actor framework / Petabridge [Electronic resource]. – Access mode : <https://getakka.net>.
7. Sutton, R.S. Reinforcement Learning: An Introduction : 2nd ed. / R.S. Sutton, A.G. Barto. – Cambridge, MA : MIT Press, 2018. – 552 p.
8. Mnih, V. Human-level control through deep reinforcement learning / V. Mnih, K. Kavukcuoglu, D. Silver [et al.] // Nature. – 2015. – Vol. 518. – P. 529–533. – DOI: 10.1038/nature14236.
9. Kipf, T.N. Semi-supervised classification with graph convolutional networks / T.N. Kipf, M. Welling // Int. Conf. on Learning Representations (ICLR), 2017.
10. Xiao, Y. Leveraging deep reinforcement learning for traffic engineering: a survey / Y. Xiao, J. Liu, J. Wu, N. Ansari // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2021. – Vol. 23. – No. 4. – P. 2064–2097. – DOI: 10.1109/comst.2021.3102580. – EDN: PXZRYM.
11. Boyan, J.A. Packet routing in dynamically changing networks: a reinforcement learning approach / J.A. Boyan, M.L. Littman // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). – 1994. – Vol. 6. – P. 671–678.
12. Семейкин, В.Д. Управление сетью передачи данных с помощью искусственных нейронных сетей / В.Д. Семейкин // T-Comm – Телекоммуникации и Транспорт. – 2013. – № 7. – С. 118–121. – EDN: RLTAQV.
13. Mnih, V. Asynchronous methods for deep reinforcement learning / V. Mnih, A.P. Badia, M. Mirza [et al.] // Proc. Int. Conf. on Machine Learning (ICML), 2016. – P. 1928–1937.
14. Zhang, J. CFR-RL: traffic engineering with reinforcement learning in SDN / J. Zhang, M. Ye, Z. Guo, C.-Y. Yen, H.J. Chao // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – 2020. – Vol. 38. – No. 10. – P. 2249–2259.
15. Sun, P. Enabling scalable routing in software-defined networks with deep reinforcement learning on critical nodes / P. Sun, Z. Guo, J. Li [et al.] // IEEE/ACM Transactions on Networking. – 2022. – Vol. 30. – No. 2. – P. 629–640. – DOI: 10.1109/TNET.2021.3126933. – EDN: CNJJDJ.
16. Pei, X. Enabling efficient routing for traffic engineering in SDN with deep reinforcement learning / X. Pei, P. Sun, Y. Hu [et al.] // Computer Networks. – 2024. – Vol. 241. – Art. 110220. – DOI: 10.1016/j.comnet.2024.110220. – EDN: TYJXQA.
17. Xu, Z. Teal: learning-accelerated optimization of WAN traffic engineering / Z. Xu, F.Y. Yan, R. Singh [et al.] // Proc. ACM SIGCOMM Conf., 2023. – P. 378–393. – DOI: 10.1145/3603269.3604857.

18. Troia, S. On deep reinforcement learning for traffic engineering in SD-WAN / S. Troia, F. Sapienza, L. Varé, G. Maier // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. – 2021. – Vol. 39. – No. 7. – P. 2198–2212. – DOI: 10.1109/jsac.2020.3041385. – EDN: VUAZUI.
19. Нурудинов, Г.М. Адаптивное управление трафиком в SDN-сетях с применением машинного обучения / Г.М. Нурудинов // *Экономика и качество систем связи*. – 2024. – № 1. – С. 114–122. – EDN: SXEGZB.
20. Rusek, K. RouteNet: leveraging graph neural networks for network modeling and optimization in SDN / K. Rusek, J. Suárez-Varela, P. Almasan, P. Barlet-Ros, A. Cabellos-Aparicio // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. – 2020. – Vol. 38. – No. 10. – P. 2260–2270. – DOI: 10.1109/jsac.2020.3000405. – EDN: HUPKWJ.
21. Ferriol-Galmés, M. RouteNet-Fermi: network modeling with graph neural networks / M. Ferriol-Galmés, J. Paillisse, J. Suárez-Varela [et al.] // *IEEE/ACM Transactions on Networking*. – 2023. – Vol. 31. – No. 6. – P. 3080–3095. – DOI: 10.1109/tnet.2023.3269983. – EDN: TITOB.
22. Barat, S. Actor based simulation for closed loop control of supply chain using reinforcement learning / S. Barat, H. Khadilkar, H. Meisheri [et al.] // *Proc. 18th Int. Conf. on Autonomous Agents and MultiAgent Systems (AAMAS)*, 2019. – P. 1802–1804.
23. Leon, F. ActressMAS, a NET multi-agent framework inspired by the actor model / F. Leon // *Mathematics*. – 2022. – Vol. 10. – No. 3. – Art. 382. – DOI: 10.3390/math10030382. – EDN: HHJPWA.
24. Hewitt, C. Actor model of computation: scalable robust information systems / C. Hewitt, 2010 [Electronic resource]. – Access mode : <https://arxiv.org/abs/1008.1459>.
25. Lowe, R. Multi-agent actor-critic for mixed cooperative-competitive environments / R. Lowe, Y. Wu, A. Tamar [et al.] // *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 2017. – P. 6379–6390.

References

2. Kolyadenko, YU.YU. Programmno-konfiguriruyemye seti na baze protokola OpenFlow i ikh kharakteristiki / YU.YU. Kolyadenko, E.E. Belousova // *ScienceRise*. – 2016. – № 3/2(20). – С. 11–16. – DOI: 10.15587/2313-8416.2016.64798. – EDN: VREUJX.
12. Semejkin, V.D. Upravlenie setyu peredachi dannykh s pomoshchyu iskusstvennykh nejronnykh setej / V.D. Semejkin // *T-Comm – Telekommunikatsii i Transport*. – 2013. – № 7. – С. 118–121. – EDN: RLTAQV.
19. Nurudinov, G.M. Adaptivnoe upravlenie trafikom v SDN-setyakh s primeneniem mashinnogo obucheniya / G.M. Nurudinov // *Ekonomika i kachestvo sistem svyazi*. – 2024. – № 1. – С. 114–122. – EDN: SXEGZB.

© М.А. Кравцов, Р.Н. Муталибов, Е.О. Петренко, 2026

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

С.А. СОИНОВ, А.А. РАДИОНОВ

ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: цифровой двойник; киберфизическая производственная система (КФПС); моделирование; синхронизация данных; прогнозирование; оптимизация; машинное обучение; промышленная автоматизация.

Аннотация: Цель работы – систематизировать методы построения цифровых двойников КФПС и определить их применимость в задачах прогнозирования, оптимизации и управления производственными объектами. В рамках обзора рассмотрены концептуальные основы цифровых двойников (в том числе разграничение цифровой модели, цифровой тени и цифрового двойника), проведена классификация методов их построения по пяти группам – семантико-графовые, имитационные, ко-симуляционные, основанные на данных и гибридные, – а также проанализировано их применение в задачах энергоменеджмента, прогнозного обслуживания, контроля качества и информационной безопасности производственных систем. Показано, что выбор метода определяется уровнем производственной системы, доступностью данных и допустимым риском вмешательства в процесс. Установлено, что наиболее перспективными являются гибридные модульные архитектуры, сочетающие физические модели, имитацию, семантические описания и машинное обучение. Определены основные ограничения существующих подходов – качество данных, валидация моделей, совместимость платформ и организационная готовность предприятия.

Введение

Киберфизические производственные системы требуют инструментов, которые не только фиксируют состояние оборудования, но и прогнозируют динамику процесса, оценивают последствия управляющих воздействий и помогают снижать риск отказов. Цифровой двойник решает эту задачу за счет связи физического объекта, виртуального представления, эксплуатационных данных и аналитических алгоритмов. В исследованиях тема разработана широко, однако архитектуры, модели, обмен данными, прогнозирование, оптимизация и безопасность часто рассматриваются раздельно [1; 2]. Цель статьи – систематизировать методы построения цифровых двойников КФПС и определить их применимость в задачах прогнозирования, оптимизации и управления производственными объектами.

1. Концептуальные основы цифровых двойников киберфизических производственных систем

Цифровой двойник в промышленности понимается как связка физического объекта, виртуального представления и обмена данными между ними [1]. В расширенной трактовке он выступает средой мониторинга, прогноза и поддержки решений, связанной с промышленным интернетом вещей, умным производством и аналитикой данных [2]. Для КФПС это означает необходимость учитывать не только геометрию или расчетную схему, но и датчики, промышленные сети, исполнительные механизмы, диспетчерское управление и прикладные сервисы.

Для выбора метода важно различать цифровую модель, цифровую тень и цифровой двойник. Модель описывает объект в виртуальной среде, но не обновляется автоматически по данным производства. Цифровая тень полу-

Таблица 1. Классификация методов построения цифровых двойников производственных объектов

Группа методов	Принцип построения	Типичные средства	Ограничения
Семантико-графовые	Описание оборудования, операций, данных и правил через онтологии и графы знаний	многослойные графы знаний [12]	требуют экспертного обновления предметной модели
Имитационные	Воспроизведение поведения линии или участка до изменения реального процесса	DES, агентное и гибридное моделирование [13; 15]	точность зависит от калибровки и полноты параметров
Ко-симуляционные	Совместный расчет моделей механики, управления, датчиков и приводов	RoboSim, FMI [14]	часть связей между моделями достраивается вручную
Основанные на данных	Прогноз состояния, качества или ресурса по измерениям процесса	регрессия, ансамблевые модели, XGBoost, нейросетевые модели [19; 20]	чувствительны к качеству выборки и смене режимов
Гибридные	Сочетание физической модели, имитации, оптимизации и обучения	генетические алгоритмы, обучение с подкреплением [17; 18]	требуют подтверждения на реальном объекте

чает данные от объекта и поддерживает мониторинг, но не возвращает результаты анализа в производственный процесс. Цифровой двойник предполагает двусторонний обмен: данные уточняют виртуальную часть, а результаты расчета, прогноза или оптимизации используются как рекомендации либо управляющие действия. В российской литературе подчеркивается, что режим обновления должен зависеть от задачи: диагностика, виртуальная наладка, обучение оператора и автоматическое управление требуют разной частоты обмена [3].

Производственный двойник редко ограничивается одним станком. Его объектом могут быть изделие, операция, технологический процесс, линия, участок или цепочка поставок [4; 5]. Поэтому методика построения обычно включает постановку цели, декомпозицию системы, выбор модели, параметризацию, подключение данных, тестирование и валидацию [6–8]. Наличие датчиков и каналов связи само по себе недостаточно: нужна модель, которая интерпретирует данные и помогает принять решение [7]. Для многоактивных систем дополнительно требуются согласованные описания активов, семантика данных и совместимость платформ [9–11].

2. Методы и алгоритмы построения цифровых двойников производственных объектов

Методы построения цифровых двойников

целесообразно группировать по доминирующему способу описания объекта. В обзоре выделены пять групп: семантико-графовые, имитационные, ко-симуляционные, основанные на данных и гибридные. Такое деление связывает метод с уровнем производственной системы и прикладной задачей: проектированием, виртуальной наладкой, расписанием, обслуживанием, контролем качества или энергоменеджментом. Сводная характеристика дана в табл. 1.

Семантико-графовые методы применимы там, где важно объяснить связь между оборудованием, операциями, параметрами качества и технологическими правилами. В исследовании С. Si и соавторов трехслойный граф знаний объединяет описание процесса, физические параметры и текущие данные производства [12]. Такой подход удобен для сложных изделий и мелкосерийного производства, но требует экспертного сопровождения и регулярной актуализации терминологии.

Имитационные методы позволяют проверить поведение производственной линии до изменения реального объекта. Дискретно-событийное моделирование описывает очереди, маршруты и поток изделий, а агентный подход удобен для автономных ресурсов и распределенной логики принятия решений [13]. Ко-симуляция расширяет эту логику: механика, управление, датчики и приводы могут рассчитываться в разных инженерных средах, связанных через стандарт FMI [14]. Для дискретных линий такие решения применяются при про-

ектировании, виртуальной наладке, планировании, маршрутизации и обслуживании [15].

Гибридные методы наиболее выражены в задачах планирования и расписаний. Цифровой двойник может связать спрос, запасы, производственные ограничения и генетический алгоритм подбора расписания [17]. Обучение с подкреплением позволяет сначала проверять действия агента в симуляции, а затем переносить отобранные решения в производственную систему [18]. Ограничение обоих вариантов состоит в том, что эффект, полученный в симуляционной среде, должен подтверждаться на реальном объекте.

Методы машинного обучения и анализа данных особенно востребованы в прогнозном обслуживании и контроле качества. В токарной обработке с ЧПУ сопоставляются регрессия, случайный лес, *XGBoost*, *SVR* и нейросетевые модели для прогноза шероховатости и энергопотребления [19]. Для контроля инструмента применяются вибрационные данные, сигналы ЧПУ и частотные признаки динамической модели [20]. В аддитивном и металлообрабатывающем производстве к этим требованиям добавляются послый контроль, температурные данные и состояние среды [21; 22]. В итоге выбор метода определяется уровнем системы, доступностью данных и допустимым риском вмешательства в процесс.

3. Применение цифровых двойников в задачах прогнозирования, оптимизации и управления КФПС

Практическая ценность цифрового двойника КФПС проявляется в переходе от наблюдения к прогнозу и поддержке решений. В промышленном энергоменеджменте двойник должен учитывать электрические параметры, технологические ограничения, тепловые процессы, механические нагрузки и график производства [23]. Поэтому задача не сводится к визуализации потребления энергии: требуется модель связи между режимами оборудования, выпуском продукции, ограничениями сети и целевыми показателями предприятия.

Алгоритмическая основа таких систем смещается к гибридным решениям. Физические модели сохраняют инженерную интерпрети-

руемость, машинное обучение уточняет параметры, выявляет аномалии и прогнозирует качество либо остаточный ресурс [24]. Генеративные и предиктивные модели могут ускорять подготовку данных, создавать виртуальные испытательные наборы и поддерживать геометрическую инспекцию изделий [25]. При этом любой результат, полученный средствами искусственного интеллекта, требует инженерной проверки: правдоподобный цифровой вывод не равен физически корректному решению.

С ростом связанности цифровой двойник становится инструментом и объектом информационной безопасности. Он может использоваться для моделирования атак, оценки уязвимостей и анализа зависимостей между физическими и информационными компонентами [26]. Одновременно искажение данных, модели или канала обмена способно привести к неверному прогнозу и ошибочному управлению [27]. Российский опыт внедрения показывает, что эффект зависит не только от алгоритмов, но и от готовности предприятия к интеграции данных, регламентам сопровождения и изменениям в работе инженерных подразделений [28].

Заключение

Проведенный обзор показывает, что цифровой двойник КФПС является не статической копией объекта, а системой моделирования, синхронизации данных, прогноза, оптимизации и поддержки управления.

Предложенная систематизация по уровню производственной системы, решаемой задаче и типу модели позволяет выбирать обоснованную комбинацию средств под конкретный производственный объект. Наиболее перспективны модульные архитектуры, где физические модели, имитация, семантические описания, машинное обучение и алгоритмы оптимизации используются совместно. Основные ограничения связаны с качеством данных, валидацией моделей, совместимостью платформ и организационной готовностью предприятия.

Дальнейшее развитие цифровых двойников КФПС должно быть направлено на проверяемую точность моделей, защищенный обмен данными и переход от мониторинга к предиктивному и прескриптивному управлению.

Литература

1. Singh, M. Digital Twin: Origin to Future / M. Singh, E. Fuenmayor, E.P. Hinchy, Y. Qiao, N. Murray, D. Devine // *Applied System Innovation*. – 2021. – Vol. 4. – No. 2. – Art. 36. – DOI: 10.3390/asi4020036. – EDN: GILKQ.
2. Iliuță, M.-E. Digital Twin-A Review of the Evolution from Concept to Technology and Its Analytical Perspectives on Applications in Various Fields / M.-E. Iliuță, M.-A. Moisescu, E. Pop, A.-D. Ionita, S.-I. Caramihai, T.-C. Mitulescu // *Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 14. – No. 13. – Art. 5454. – DOI: 10.3390/app14135454. – EDN: QECVRP.
3. Дозорцев, В.М. Цифровые двойники в промышленной автоматизации – на пике моды или наступившее будущее? / В.М. Дозорцев // *Автоматизация в промышленности*. – 2022. – № 7. – С. 3–14. – DOI: 10.25728/avtprom.2022.07.01. – EDN: CLMJIJ.
4. Анисимов, А.Ю. Развитие концепции цифровых двойников / А.Ю. Анисимов, А.Н. Алексин, С.А. Алексахина, Н.А. Бородина // *Экономика, предпринимательство и право*. – 2024. – Т. 14. – № 12. – С. 8171–8186. – DOI: 10.18334/epp.14.12.122197. – EDN: KJRBUC.
5. Lattanzi, L. Digital twin for smart manufacturing: a review of concepts towards a practical industrial implementation / L. Lattanzi, R. Raffaeli, M. Peruzzini, M. Pellicciari // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2021. – Vol. 34. – No. 6. – P. 567–597. – DOI: 10.1080/0951192X.2021.1911003. – EDN: THMLCX.
6. Resman, M. A Five-Step Approach to Planning Data-Driven Digital Twins for Discrete Manufacturing Systems / M. Resman, J. Protner, M. Simic, N. Herakovic // *Applied Sciences*. – 2021. – Vol. 11. – No. 8. – Art. 3639. – DOI: 10.3390/app11083639. – EDN: OWRGXF.
7. Fett, M. A Literature Review on the Development and Creation of Digital Twins, Cyber-Physical Systems, and Product-Service Systems / M. Fett, F. Wilking, S. Goetz, E. Kirchner, S. Wartzack // *Sensors*. – 2023. – Vol. 23. – No. 24. – Art. 9786. – DOI: 10.3390/s23249786. – EDN: GWMAUQ.
8. Fuhrländer-Völker, D. Method for the development and application of digital twins in manufacturing / D. Fuhrländer-Völker, M. Lindner, M. von Elling, T. Frieß, S. Karnapp, M. Weigold // *Production Engineering*. – 2025. – Vol. 19. – P. 959–973. – DOI: 10.1007/s11740-025-01346-x. – EDN: DLBXKI.
9. Zhang, J. Digital twin and the asset administration shell: An Analysis of the Three Types of AASs and their Feasibility for Digital Twin Engineering / J. Zhang, C. Ellwein, M. Heithoff, J. Michael, A. Wortmann // *Software and Systems Modeling*. – 2025. – Vol. 24. – P. 771–793. – DOI: 10.1007/s10270-024-01255-0.
10. Kaya, F. Asset Administration Shell Tool Comparison: A Case Study with Real Digital Twins Used in Petrochemical Industry / F. Kaya, E. Şanlı, Ö. Albayrak, P. Ünal, P. Kirci // *Sensors*. – 2025. – Vol. 25. – No. 7. – Art. 1978. – DOI: 10.3390/s25071978. – EDN: AEQALY.
11. David, I. Interoperability of Digital Twins: Challenges, Success Factors, and Future Research Directions / I. David, G. Shao, C. Gomes, D. Tilbury, B. Zarkout // *Proceedings of the 2023 Annual Simulation Conference, 2024*. – 20 p. [Electronic resource]. – Access mode : https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=956427.
12. Su, C. Digital twin system for manufacturing processes based on a multi-layer knowledge graph model / C. Su, X. Tang, Q. Jiang, Y. Han, T. Wang, D. Jiang // *Scientific Reports*. – 2025. – Vol. 15. – Art. 12835. – DOI: 10.1038/s41598-024-85053-0. – EDN: OEXXVF.
13. Paape, N. Review of simulation software for cyber-physical production systems with intelligent distributed production control / N. Paape, J.A.W.M. Van Eekelen, M.A. Reniers // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2024. – Vol. 37. – No. 5. – P. 589–611. – DOI: 10.1080/0951192X.2023.2228270.
14. Gil, S. A model-based approach for co-simulation-driven digital twins in robotics / S. Gil, A. Badyal, A. Miyazawa, P.G. Larsen, A. Cavalcanti // *Robotics and Autonomous Systems*. – 2026. – Art. 105240. – DOI: 10.1016/j.robot.2025.105240. – EDN: UMVRGP.
15. Feng, X. Digital Twins for Discrete Manufacturing Lines: A Review / X. Feng, J. Wan // *Big Data and Cognitive Computing*. – 2024. – Vol. 8. – No. 5. – Art. 45. – DOI: 10.3390/bdcc8050045. – EDN: VJEMII.

16. Webb, L. State of the art and future directions of digital twin-enabled smart assembly automation in discrete manufacturing industries / L. Webb, O.M. Tokhi, B. Alkan // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. – 2025. – Vol. 38. – No. 8. – P. 1126–1160. – DOI: 10.1080/0951192X.2024.2387775.
17. Ma, G. Digital Twin-based Demand-Driven Production Planning and Scheduling System: A New Conceptual Framework / G. Ma, E.R. da Silva, C. Møller // *Procedia CIRP*. – 2024. – Vol. 130. – P. 705–710. – DOI: 10.1016/j.procir.2024.10.152. – EDN: ALZDWS.
18. Khoudi, A. A Deep-Reinforcement-Learning-Based Digital Twin for Manufacturing Process Optimization / A. Khoudi, T. Masrour, I. El Hassani, C. El Mazgualdi // *Systems*. – 2024. – Vol. 12. – No. 2. – Art. 38. – DOI: 10.3390/systems12020038. – EDN: GHFFRR.
19. Khan, T. Data-Driven Digital Twin Framework for Predictive Maintenance of Smart Manufacturing Systems / T. Khan, U. Khan, A. Khan, C. Mollan, I. Morkvenaite-Vilkonciene, V. Pandey // *Machines*. – 2025. – Vol. 13. – No. 6. – Art. 481. – DOI: 10.3390/machines13060481. – EDN: FXSXXB.
20. Liu, Z. Digital twin-based anomaly detection for real-time tool condition monitoring in machining / Z. Liu, Z.-Q. Lang, Y. Gui, Y.-P. Zhu, H. Laalej // *Journal of Manufacturing Systems*. – 2024. – Vol. 75. – P. 163–173. – DOI: 10.1016/j.jmsy.2024.06.004. – EDN: IJNKIP.
21. Ben Amor, S. Digital Twin Implementation in Additive Manufacturing: A Comprehensive Review / S. Ben Amor, N. Elloumi, A. Eltaief, B. Louhichi, N.H. Alrasheedi, A. Seibi // *Processes*. – 2024. – Vol. 12. – No. 6. – Art. 1062. – DOI: 10.3390/pr12061062. – EDN: IPPZQK.
22. Villegas-Ch, W. Digital twin integration in metalworking: enhancing efficiency and predictive maintenance / W. Villegas-Ch, R. Gutierrez, J. Govea // *Frontiers in Mechanical Engineering*. – 2025. – Vol. 11. – Art. 1655565. – DOI: 10.3389/fmech.2025.1655565. – EDN: PCNCYO.
23. Rolofs, G. Integrating Digital Twins and Cyber-Physical Systems for Flexible Energy Management in Manufacturing Facilities: A Conceptual Framework / G. Rolofs, F. Wilking, S. Goetz, S. Wartack // *Electronics*. – 2024. – Vol. 13. – No. 24. – Art. 4964. – DOI: 10.3390/electronics13244964. – EDN: AQZRRY.
24. Nguyen, P. AI-Driven Digital Twins for Manufacturing: A Review Across Hierarchical Manufacturing System Levels / P. Nguyen, M. Kim, E. Nichols, H.-S. Yoon // *Sensors*. – 2026. – Vol. 26. – No. 1. – Art. 124. – DOI: 10.3390/s26010124. – EDN: EDXKIA.
25. Dai, D. Generative and Predictive AI for digital twin systems in manufacturing / D. Dai, B. Zhao, Z. Yu, P. Franciosa, D. Ceglarek // *Frontiers in Artificial Intelligence*. – 2025. – Vol. 8. – Art. 1655470. – DOI: 10.3389/frai.2025.1655470. – EDN: GBOTUR.
26. Jiang, Y. Leveraging Digital Twin Technology for Enhanced Cybersecurity in Cyber-Physical Production Systems / Y. Jiang, W. Wang, J. Ding, X. Lu, Y. Jing // *Future Internet*. – 2024. – Vol. 16. – No. 4. – Art. 134. – DOI: 10.3390/fi16040134. – EDN: UYPLBR.
27. Митяков, Е.С. Цифровые двойники как объект и инструмент информационной безопасности / Е.С. Митяков // *Информационные технологии и телекоммуникации*. – 2024. – Т. 12. – № 4. – С. 1–12. – DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-4-1-12. – EDN: RQVZLW.
28. Гостева, О.В. Особенности применения цифровых двойников на российских промышленных предприятиях / О.В. Гостева, О.В. Пацук // *Международный научно-исследовательский журнал*. – 2023. – № 8(134). – DOI: 10.23670/IRJ.2023.134.14. – EDN: LQOQTW.

References

3. Dozortsev, V.M. TSifrovye dvojniki v promyshlennoj avtomatizatsii – na pike mody ili nastupivshee budushchee? / V.M. Dozortsev // *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. – 2022. – № 7. – С. 3–14. – DOI: 10.25728/avtprom.2022.07.01. – EDN: CLMJJJ.
4. Anisimov, A.YU. Razvitie kontseptsii tsifrovyykh dvojnikov / A.YU. Anisimov, A.N. Aleksakhin, S.A. Aleksakhina, N.A. Borodina // *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo*. – 2024. – Т. 14. – № 12. – С. 8171–8186. – DOI: 10.18334/epp.14.12.122197. – EDN: KJRBUC.
27. Mityakov, E.S. TSifrovye dvojniki kak obekt i instrument informatsionnoj bezopasnosti / E.S. Mityakov // *Informatsionnye tekhnologii i telekommunikatsii*. – 2024. – Т. 12. – № 4. – С. 1–12. –

DOI: 10.31854/2307-1303-2024-12-4-1-12. – EDN: RQVZLW.

28. Gosteva, O.V. Osobennosti primeneniya tsifrovyykh dvojnikov na rossijskikh promyshlennykh predpriyatiyakh / O.V. Gosteva, O.V. Patsuk // *Mezhdunarodnij nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. – 2023. – № 8(134). – DOI: 10.23670/IRJ.2023.134.14. – EDN: LQOQTW.

© С.А. Соинов, А.А. Радионов, 2026

СТРАТЕГИЯ СНИЖЕНИЯ РУЧНОЙ ДОРАБОТКИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕДУР ВАЛИДАЦИИ И АНАЛИЗА АНОМАЛИЙ

М.А. ТИМОФЕЕВ

г. Москва

Ключевые слова и фразы: пространственные данные; автоматизация; валидация записей; анализ аномалий; ручная доработка; правки.

Аннотация: Рост объема и частоты обновления пространственных данных повышает значимость автоматизированного контроля качества и сокращения ручной доработки. Научные задачи исследования: выявление причин повторной ручной доработки, систематизация процедур автоматизированной валидации, обоснование порядка отбора аномалий для экспертной проверки. Целью исследования является разработка стратегии снижения ручной доработки пространственных данных на основе автоматизированной валидации и анализа аномалий. Гипотеза исследования: согласование проверки записей, обнаружения аномалий и группировки причин доработки снижает трудоемкость контроля пространственных данных. Методы: общетеоретические методы анализа, синтеза, классификации и обобщения научной литературы. Достигнутые результаты: а) разработана структура стратегии снижения ручной доработки; б) предложена классификация причин повторной доработки пространственных данных; в) установлено, что сокращение ручных операций зависит от связи валидации записей, обнаружения аномалий, оценки влияния и перечня правок; г) обосновано разделение автоматизированной проверки, экспертной оценки и итоговой доработки пространственных данных.

В проектах анализа пространственных данных объем ручной доработки возрастает по мере увеличения числа объектов, атрибутов, источников и циклов обновления. Массовая загрузка точек интереса, зон интереса, адресных записей, дорожных элементов и полигонов формирует условия, в рамках которых одна повторяемая ошибка быстро переходит из единичного дефекта в постоянный источник затрат времени, т.е. может стать причиной аномалии (синонимично – редкого события, новизны, неисправности, вторжения, отклонения и т.п.). Под аномалиями в широком смысле целесообразно понимать «закономерности в данных, которые не соответствуют четко определенному понятию «нормального» поведения» [1, с. 34]. Пространственные данные часто требуют проверки полноты, позиционной точности, тематической точности и логической согласованности, поскольку качество объекта определяется

как координатой, так и корректностью атрибута, статусом обновления и согласованием с соседними объектами [6]. Аномалию в пространственных данных целесообразно понимать как запись, группу записей или изменение объекта, которые отклоняются от заранее заданного нормального состояния по атрибутам, координатам, истории обновления или связям с другими объектами [1; 4–5]. Увеличение числа обновлений усиливает значение входной валидации, потому что ручной просмотр каждой спорной записи замедляет цикл проверки и увеличивает долю повторной доработки. Аномальные значения, пропуски и шум в данных способны снижать качество прогнозных и аналитических моделей еще до этапа принятия решения [2]. В связи с этим актуальна стратегия снижения ручной доработки, что определяется потребностью в автоматизированных процедурах валидации, заранее выделяющих типовые ошибки, группи-

Таблица 1. Причины повторной доработки пространственных данных

Группа	Состав	Основа диагностики	Автоматизированная процедура валидации	Результат
Ошибки структуры данных	Расхождение состава полей, неверный тип значения, нарушение обязательности поля	Схема данных	Сопоставление структуры датасета со спецификацией	Раннее исключение записей с нарушенной структурой
Неполные атрибуты	Пустые обязательные поля, неполное описание класса объекта, отсутствие адресного или категориального признака	Атрибутивная полнота	Проверка заполнения обязательных полей и минимального состава признаков	Сокращение повторного просмотра неполных записей
Аномальные значения	Выброс, нетипичный числовой диапазон, редкое сочетание атрибутов, подозрительный статус объекта	Анализ выбросов	Изоляционный лес (<i>Isolation Forest</i>), <i>XGBoost</i> , правила диапазонов	Выделение спорных объектов до экспертной оценки
Несо согласованные обновления	Повторная загрузка объекта, конфликт версий, изменение атрибута вне ожидаемой истории	Пространственно-временная согласованность	Сравнение версии загрузки, даты обновления и истории объекта	Снижение повторных правок после новых загрузок
Расхождения источников	Несовпадение <i>POI</i> в разных датасетах, разный тип места, разное название объекта	Внешняя валидация	Сопоставление с эталонным датасетом и поиск ошибок пропуска или добавления	Отбор записей для адресной экспертной проверки
Дубли объектов	Повтор точки интереса, близкие координаты, совпадение названия и класса объекта	Логическая согласованность	Поиск дублей по координатам, названию, классу и расстоянию	Сокращение ручного объединения повторов
Ошибки описания категорий	Неверный класс объекта, смешение типов мест, расхождение категорий и фактического назначения	Тематическая точность	Проверка допустимых сочетаний атрибутов и классов	Уменьшение повторной классификации объектов

рующих аномалии и передающих специалисту только значимые случаи [1].

Ручная доработка пространственных данных возникает как следствие разрыва между ожидаемым состоянием датасета и фактическим составом загруженных записей. В профессиональной обработке такого рода разрыв проявляется в ошибках загрузки, неполной атрибуции, расхождениях схем данных (*data schemas*), ошибочных кодах классов и аномальных значениях (*anomalous values*). При этом чем выше частота обновления датасета, тем заметнее влияние повторяемых причин ошибки на длительность проверки [3]. С содержательной точки зрения ручная доработка связана с тремя группами операций: поиском дефекта, проверкой его причины и выбором действия по исправлению. Так, при отсутствии автоматизированной валидации (*automated validation*) специалист вынужден заново сопоставлять объект с правилами заполнения, допустимыми значе-

ниями, координатным положением и историей обновления. Следует отметить, что аномалия в данных часто выражается как в выбросе значения (*outlier*), так и в пропуске, нетипичном сочетании атрибутов, повторе объекта или несогласованном изменении записи [5]. Иными словами, повторяемая ручная доработка возникает вследствие отсутствия заранее заданного порядка распознавания типовых отклонений. И в этом смысле на авансцену выходит автоматизация. Автоматизация снижает повторяемость ручной доработки тогда, когда типовые причины ошибок трансформируются в процедуры проверки. Валидация обязательных полей, контроль доменов значений (*value domains*), сопоставление с эталонным датасетом (*reference dataset*), поиск дублей и анализ пространственно-временных изменений – все это формирует основу раннего выявления отклонений [4]. В рамках стратегии снижения ручной доработки пространственных данных подобного рода

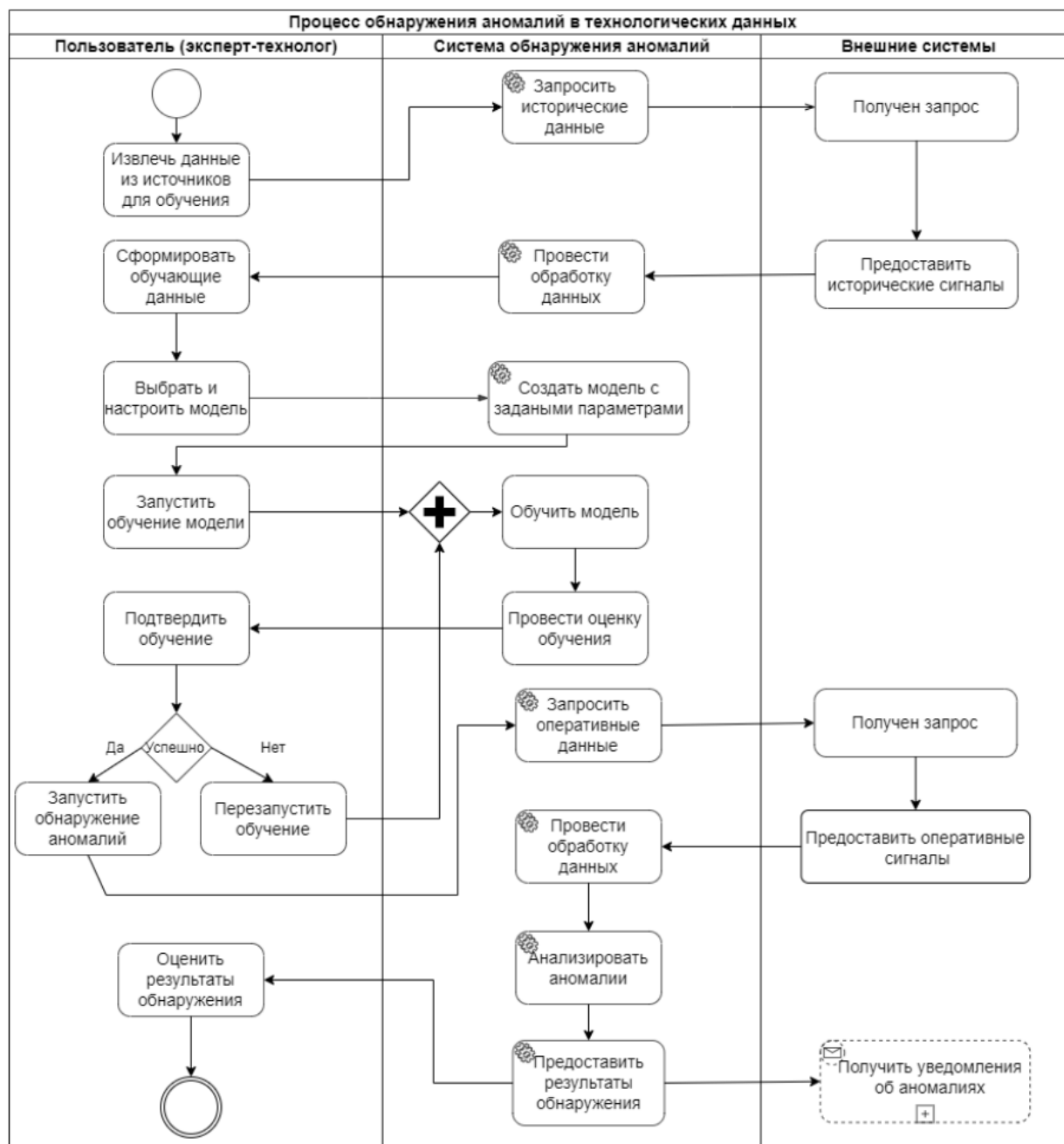


Рис. 1. Процесс обнаружения аномалий

процедуры должны отделять автоматическую проверку от экспертной оценки и направлять ручной труд на спорные случаи, влияющие на качество датасета. Классификация причин повторной доработки пространственных данных позволяет соотнести источник ошибки с процедурой автоматизированной валидации [1]. В основе классификации лежит различие ошибок структуры, атрибуции, значений, обновлений и результатов проверки (табл. 1), задающей

основу для выбора процедур валидации, так как каждая группа причин должна быть связана с конкретным способом машинного контроля.

В общем виде процесс обнаружения аномалий предложили А.В. Замятин и Д.А. Мурзагулов (рис. 1). В их интерпретации это согласованная работа эксперта, системы анализа данных и внешних источников сигналов. Однако для задач снижения ручной доработки пространственных данных целесообразно

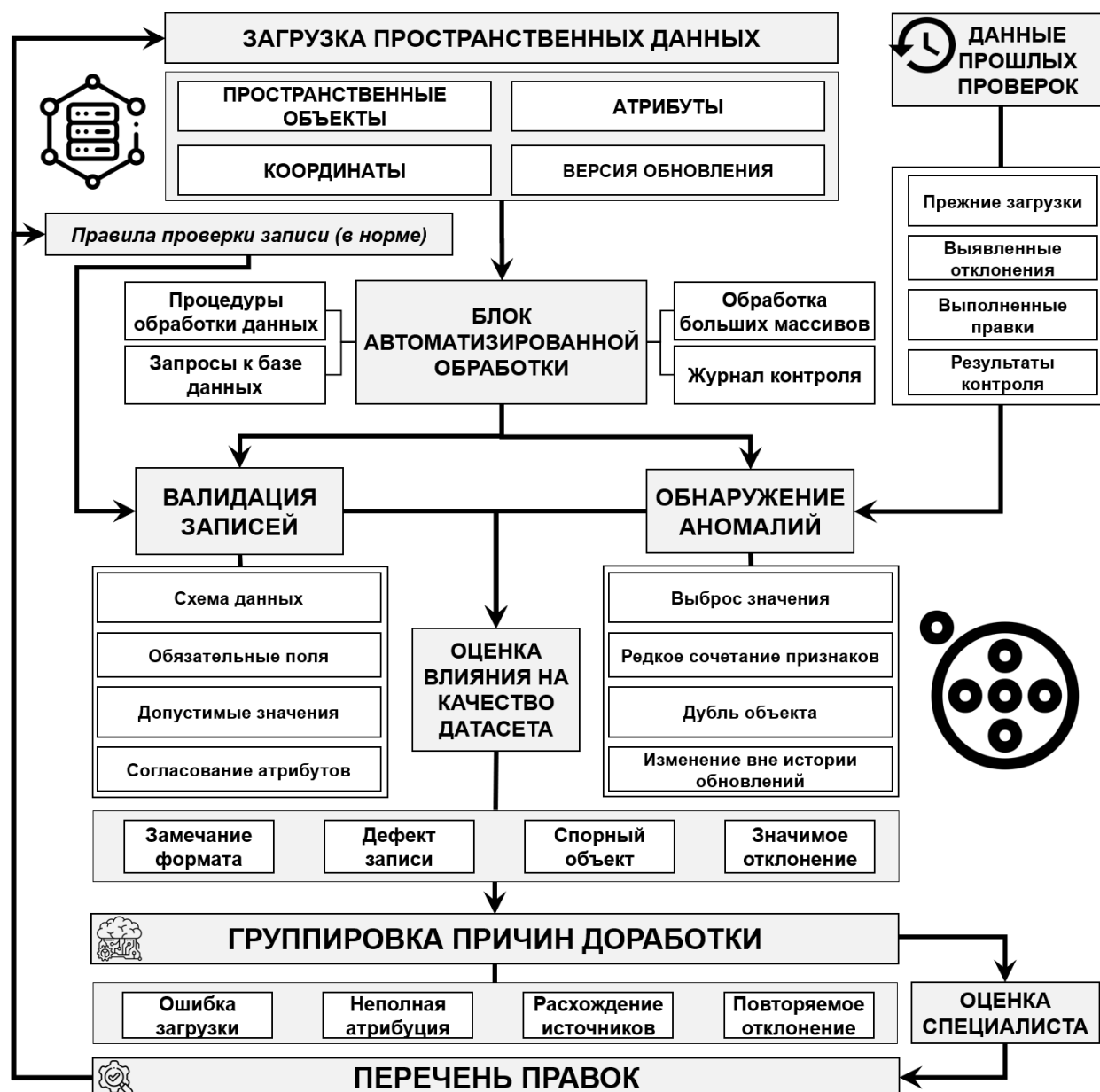


Рис. 2. Структура стратегии снижения ручной доработки

адаптировать данный принцип к процедурам валидации записей, анализа аномалий и подготовки перечня правок.

В целях снижения ручной доработки предлагается авторская стратегическая модель снижения ручной доработки (рис. 2).

Входной контроль отделяет ошибки структуры, неполные атрибуты и нарушения допустимых значений от сложных случаев, требующих экспертной оценки. Затем автоматизированная валидация сопоставляет записи со схемой данных, доменами значений, эталонным

датасетом и историей обновлений, что позволяет убрать значительную часть однотипных ручных операций [6].

Анализ аномалий (*anomaly detection*) расширяет валидацию за счет выявления выбросов, редких сочетаний признаков, дублей и нетипичных пространственно-временных изменений [5]. При этом автоматическая проверка должна завершаться подготовкой распределенного перечня ошибок, когда типовые дефекты устраняются по заранее заданным правилам, спорные объекты направляются на эксперти-

зу, значимые отклонения включаются в итоговый перечень правок [1]. Специалист в данной стратегии работает со сложными случаями, в то время как повторяемая проверка выполняется автоматически.

Проведенное исследование показывает, что авторский деловой вклад в развитие ИТ-практик снижения трудоемкости обработки пространственных данных состоит в разработке стратегии, которая объединяет валидацию записей, сопоставление со схемой данных, анализ аномалий и группировку причин повторной доработки в единый порядок контроля качества.

В системах анализа данных предложенная стратегия помогает раньше выделять ошибки загрузки, неполную атрибуцию, расхождения источников, дубли объектов, выбросы значений и изменения вне истории обновлений, устанавливать уровень влияния отклонения на качество датасета и выбирать направление исправления.

Авторская разработка усиливает практику автоматизированного контроля качества, поскольку сокращает долю ручных операций, отделяет типовые дефекты от спорных записей и формирует перечень правок с причинами отклонений и приоритетами исправлений.

Литература

1. Замятин, А.В. Обнаружение аномалий в технологических данных: алгоритмы, программы, системы : монография / А.В. Замятин, Д.А. Мурзагулов. – Томск : Изд-во Томского государственного университета, 2024. – 164 с. – ISBN: 978-5-907890-34-3. – EDN: OQLWWO.
2. Кузовлев, В.И. Выявление аномалий при прогнозном анализе данных / В.И. Кузовлев, А.О. Орлов // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Приборостроение. – 2016. – № 5(110). – С. 75–85. – EDN: WXBWTH.
3. Foody, G. Assuring the Quality of VGI on Land Use and Land Cover: Experiences and Learnings from the LandSense Project / G. Foody, G. Long, M. Schultz, A.-M. Olteanu-Raimond // Geo-spatial Information Science. – 2024. – Vol. 27. – No. 1. – P. 16–37. – DOI: 10.1080/10095020.2022.2100285.
4. Hairuddin, F.I. Graph-based Spatio-Temporal Analytics: A Systematic Review / F.I. Hairuddin, S. Azri, U. Ujang // Networks and Spatial Economics, 2026. – P. 1–50. – DOI: 10.1007/s11067-026-09722-5. – EDN: HVCENF.
5. Kim, C.-S. Outlier Detection in Hydrological Data Using Machine Learning: A Case Study in Lao PDR / C.-S. Kim, C.-R. Kim, K.-H. Kok // Water. – 2025. – Vol. 17. – No. 21. – P. 1–28. – DOI: 10.3390/w17213120. – EDN: DGDONY.
6. Yeow, L.W. Point-of-Interest (POI) Data Validation Methods: An Urban Case Study / L.W. Yeow, R. Low, Y.X. Tan, L. Cheah // ISPRS International Journal of Geo-Information. – 2021. – Vol. 10. – No. 11. – P. 1–27. – DOI: 10.3390/ijgi10110735. – EDN: PSDDRK.

References

1. Zamyatin, A.V. Obnaruzhenie anomalij v tekhnologicheskikh dannykh: algoritmy, programmy, sistemy : monografiya / A.V. Zamyatin, D.A. Murzagulov. – Tomsk : Izd-vo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, 2024. – 164 s. – ISBN: 978-5-907890-34-3. – EDN: OQLWWO.
2. Kuzovlev, V.I. Vyyavlenie anomalij pri prognoznom analize dannykh / V.I. Kuzovlev, A.O. Orlov // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Bauman. Seriya Priborostroenie. – 2016. – № 5(110). – S. 75–85. – EDN: WXBWTH.

© М.А. Тимофеев, 2026

ЭМПИРИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ МОД И ГЛУБОКОЕ ОБУЧЕНИЕ В ДИАГНОСТИКЕ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

П.С. ФЕДЬКИН, А.В. МАКШАНОВ

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: солнечные панели; обнаружение дефектов; сверточные нейронные сети; YOLOv8; эмпирическое разложение мод (*EMD*); двумерное *EMD* (*BEMD*); предобработка изображений.

Аннотация: Целью данного обзора является систематизация и сравнительный анализ современных методов автоматического обнаружения дефектов солнечных панелей по изображениям, а также выявление перспективных направлений, включая методы адаптивной декомпозиции сигналов (*EMD/BEMD*), которые могут дополнить традиционные *CNN*-решения.

В рамках исследования решались следующие задачи: классификация типов дефектов солнечных панелей и методов их диагностической съемки; сравнительный анализ архитектур сверточных нейронных сетей (*CNN* с модулем *BiDAF*, *VGG-16*, *MobileNetV2*, *YOLOv8*) по критериям точности, вычислительной сложности и условиям применимости; оценка потенциала эмпирического разложения мод и его двумерного расширения (*BEMD*) как адаптивного метода предобработки изображений.

Гипотеза исследования: гибридный подход, сочетающий адаптивную фильтрацию на основе *BEMD* с нейросетевыми архитектурами, позволит повысить устойчивость систем обнаружения дефектов к шумам и изменчивым условиям съемки, а также снизить требования к объему размеченных обучающих выборок.

Методология работы основана на теоретическом анализе и обобщении результатов, представленных в рецензируемых источниках (2018–2025 гг.). Использованы методы сравнительного анализа архитектур *CNN*, а также произведена систематизация данных по применению *EMD/BEEMD/BEMD* в задачах обработки одномерных и двумерных сигналов.

В результате исследования установлено, что наивысшую точность классификации на снимках, сделанных вблизи, демонстрирует *MobileNetV2* (91 %), однако для аэрофотосъемки с дронов наиболее перспективной является *YOLOv8* (84 % со встроенной локализацией). Выявлены общие ограничения *CNN*-подходов: потребность в больших размеченных выборках, высокие вычислительные затраты, низкая интерпретируемость и чувствительность к шумам. Показано, что *BEEMD* успешно применяется для обнаружения аномалий в одномерных сигналах энергосистем, а *BEMD* – для обработки текстур и медицинских изображений. Сделан вывод о перспективности использования *BEMD* в качестве этапа предобработки перед подачей изображений в нейронные сети, в частности в архитектуру *YOLO*. При этом область применения *BEMD* для термографических изображений солнечных панелей остается малоизученной и требует дальнейших исследований.

Введение

Солнечная энергетика является одним из

наиболее динамично развивающихся секторов возобновляемой энергетики. Эффективность и долговечность фотоэлектрических пане-

лей напрямую зависят от своевременного обнаружения и устранения дефектов, таких как микротрещины, горячие точки, потенциально-индуцированная деградация, а также загрязнения различного происхождения [1; 2]. Выход панели из строя или снижение ее производительности на 20–25 % в течение срока службы (20–25 лет) приводит к значительным экономическим потерям и снижению рентабельности солнечных электростанций [3].

Традиционные методы визуального контроля неэффективны для крупных солнечных полей, требуют больших трудозатрат и не позволяют выявить скрытые или зарождающиеся дефекты. В последние годы активно развиваются автоматизированные подходы, основанные на анализе изображений, получаемых с помощью дронов, тепловизоров и камер видимого диапазона. Однако выбор оптимальной методологии анализа таких изображений остается нетривиальной задачей. Методы машинного обучения, в частности сверточные нейронные сети (*CNN*), показывают высокую точность, но требуют больших размеченных датасетов и значительных вычислительных ресурсов, а их интерпретируемость остается низкой.

Цель обзора – проанализировать существующие методологии автоматического обнаружения дефектов солнечных панелей по изображениям, классифицировать их по используемым подходам и выявить перспективные направления, включая методы адаптивной декомпозиции сигналов (*EMD/HHT*), которые могут дополнить или усилить традиционные *CNN*-решения.

Представим задачи обзора.

1. Классифицировать типы дефектов солнечных панелей и методы их диагностической съемки.

2. Рассмотреть основные архитектуры нейронных сетей (*CNN*, *VGG-16*, *MobileNetV2*, *YOLOv8*), применяемые для классификации и локализации дефектов.

3. Оценить сильные и слабые стороны каждого подхода на основе данных из литературы.

4. Изучить потенциал эмпирического разложения мод (*EMD*) и его двумерного расширения (*BEMD*) как адаптивного метода предобработки изображений.

5. Определить исследовательские проблемы и сформулировать направления для будущих работ.

Классификация дефектов солнечных панелей

Дефекты в солнечных панелях могут возникать по различным причинам, традиционно их разделяют на три категории.

- Дефекты материала и производства (физические поломки): микротрещины, повреждение токопроводящих элементов.

- Эксплуатационные дефекты (электрические поломки): горячие точки (*hotspots*), потенциально-индуцированная деградация (*PID*), отслоения.

- Загрязнения и затенения: пыль, птичий помет, снег, затенение близлежащими объектами.

Классификация различных типов загрязнений позволяет определить, какое действие нужно произвести над панелью – это может быть как выдувание пыли от панели воздуховодом или же протирание панели от помета. Также количественное – значения загрязнений позволяют определить приоритет работ, насколько важно произвести очистку в ближайшее время [1].

Методы получения изображений для диагностики

Поиск дефектов выполняется зачастую с помощью анализа снимков, сделанных в результате ежедневного облета дронами. Тем самым задача по определению поломок сводится к анализу закономерностей между пикселями изображений – трехмерных тензоров.

Анализируемые изображения могут быть трех видов.

- Термография (инфракрасная съемка/*IRT*): фиксация теплового излучения позволяет подробнее выделить электрические поломки – горячие точки и проблемы с контактами, но меньше подходит для выявления микротрещин.

- Электролюминесценция (*EL*): свечение ячеек под напряжением позволяет определить микротрещины и разрушенные ячейки с высокой детализацией, но имеет также и недостатки – требует отсутствия внешней засветки, поэтому обычно выполняется в темное время суток или в затемненных условиях.

- Съемка в видимом спектре: применение для обнаружения внешних загрязнений, повреждений рамы, снега.

Также съемка солнечных панелей может разделяться на два вида снимков – ручной сни-

Таблица 1. Особенности методов классификации изображений

Признак \ Метод	<i>SVM</i>	<i>ANN</i>
Устойчивость	Более чувствительны к шумам и постоянным деталям	<i>Высокая</i> : Обработка недостающих данных и адаптация к изменениям информации
Интерпретируемость	<i>Легкая</i> : Явная геометрическая интерпретация	Воспринимается как «черная коробка», требуются специальные методы для интерпретируемости
Эффективность вычислений	Быстрее обучаются, создаются легковесные модели	Модели многослойных сетей могут быть сложны для обучения. Возможна оптимизация для параллельных вычислений

мок конкретной панели вблизи и дальний снимок при полете дрона.

Обзор существующих методологий анализа

В задачах классификации зачастую используются два подхода – применение метода опорных векторов (англ. *Support Vector Machines*) и искусственных нейронных сетей (англ. *Artificial Neural Networks*). Каждый из методов способен обеспечить высокую точность классификации изображений, но также имеют и свои особенности (табл. 1).

Несмотря на то, что *SVM* имеют свои сильные стороны [4], большинство исследований и разработок используют искусственные нейронные сети. В силу преимуществ работы *ANN* с неструктурированными данными и их способности к автоматическому извлечению признаков, именно этот класс методов получил наибольшее развитие в задачах анализа изображений, в частности архитектура сверточных нейронных сетей (англ. *Convolutional Neural Networks*, *CNN*), и ее доработки – *VGG-16*, *MobileNetV2* и *YOLOv8*.

Таким образом, исследователи при использовании *ANN* стараются решить следующие задачи.

- Объем набора данных.

Подбор подходящего датасета (изображений для 6 классов поломок) и соотношение обучающего (настройка параметров), проверочного (настройка гиперпараметров) и контрольного (окончательная проверка модели *ANN*) наборов.

- Предобработка изображений.

Для использования изображений моделью, требуется выполнить различные преобразова-

ния – изменение размера изображения, выделение отдельных каналов *RGB* или другой специфический метод.

- Конфигурация модели сети глубокого обучения.

Настройка гиперпараметров или же изменение/добавление слоев существующих архитектур.

- Локализация поломки на изображении.

Так как *ANN* зачастую – «черный ящик», то исследователи применяют дополнительные алгоритмы для определения области поломки на изображении.

Применение искусственных нейронных сетей

В работе [2] предложена *CNN*-архитектура с модулем двунаправленного слияния (*BiDIAF*) для локализации загрязнений на *RGB*-изображениях. Модель обучена на 45 000 снимках, сделанных вблизи панелей. *BiDIAF* усиливает карты признаков на разных слоях, повышая точность локализации. Достигнута точность классификации 83 %, *IoU* локализации – 66 %.

Использование архитектуры *VGG-16*

В работе [5] авторы используют одну из современных реализаций сверточных нейронных сетей, имеющих отдельное название – *Visual Geometry Group (VGG)*, которые позволяют извлекать достаточно сложные признаки на разных уровнях абстракции. *VGG-16* была дообучена на инфракрасных термограммах для классификации шести типов повреждений солнечных панелей. Датасет содержал 837 изображений (320 × 240), снятых вблизи. Применялись

Таблица 2. Характеристики рассмотренных архитектур

Модель Характеристика	<i>CNN+BiDIAF</i>	<i>VGG-16</i>	<i>MobileNetV2</i>	<i>YOLOv8 + C2f-EMA</i>
Объем датасета	45 000	837	877	1334
Тип изображений	Видимый спектр, вблизи	Инфракрасный, вблизи	Видимый спектр, вблизи	Инфракрасный, полет дрона
Разрешение изображений	Не указано	150×150	224×224	640×640
Предобработка	Традиционные методы	Традиционные методы	Сжатие изображений	Не описана
Локализация	<i>BiDIAF</i>	<i>Heatmap</i>	<i>Grad-CAM</i>	Встроенный механизм
Точность	83 %	88 %	91 %	84 %

стандартные методы предобработки: выравнивание гистограммы, аугментация и нормализация. Входные изображения были приведены к разрешению 150×150. Модель достигла точности классификации 88 %, локализация дефектов выполнялась с помощью тепловой карты (*Heatmap*).

Применение архитектуры *MobileNetV2*

Авторы [1] применили легкую архитектуру *MobileNetV2* в сочетании с *Grad CAM* для классификации и локализации дефектов на *RGB*-изображениях, снятых вблизи. Датасет включал 877 изображений, которые перед обучением были сжаты до 224×224. *MobileNetV2* обеспечивает высокую точность при малом числе параметров, что делает ее пригодной для использования на дронах. Модель показала наилучший результат среди рассмотренных – 91 % точности классификации и локализации.

Применение архитектуры *YOLOv8*

В работе [6] предложена модификация *YOLOv8* с механизмом внимания *EMA* для обнаружения дефектов на инфракрасных изображениях, полученных с дронов. Датасет содержал 1334 изображения (предположительно 640×640). Архитектура *YOLO* включает магистраль (*Backbone*), шею (*Neck*) и голову (*Head*), обеспечивая встроенную локализацию без дополнительных методов. Модель достигла точности 84 %, уступая *MobileNetV2*, однако ее преимущество – работа с аэрофотоснимками и отсутствие потребности в отдельных модулях локализации.

Резюме

Среди рассмотренных архитектур (табл. 2)

наивысшую точность классификации (91 %) показала *MobileNetV2* в связке с *Grad-CAM* при классификации изображений панелей, сфотографированных вблизи. Несмотря на то, что *YOLOv8* имеет точность ниже (84 %), он обладает встроенным механизмом локализации, не требует дополнительных методов, а также используется при анализе больших изображений с полетов дрона (640×640), поэтому *YOLOv8* является более интересным для дальнейшего рассмотрения.

Проведенный анализ показывает, что *CNN*-архитектуры достигают высокой точности классификации и локализации дефектов, особенно при съемке вблизи. Однако все эти методы имеют общие недостатки:

- 1) потребность в больших размеченных датасетах (от сотен до десятков тысяч изображений);
- 2) высокие вычислительные затраты на обучение;
- 3) низкую интерпретируемость результатов («черный ящик»);
- 4) чувствительность к шумам и изменчивым условиям съемки (освещение, угол, расстояние).

Эти ограничения особенно критичны для промышленного применения, где размеченные данные часто дефицитны, а условия получения изображений нестабильны (полеты дронов).

В связи с этим в последние годы исследователи обращаются к методам, которые не требуют обучения на больших выборках и могут адаптивно выделять информативные компоненты из зашумленных сигналов. Одним из таких

методов является эмпирическое разложение мод (*EMD*) и его расширения, которые могут быть использованы как этап предобработки для улучшения качества входных данных перед подачей в нейронные сети.

Эмпирическое разложение мод (*EMD*)

Недостаток обучающих данных может повлечь за собой проблемы с точностью прогнозирования, и наконец, *ANN* требуют больших вычислительных затрат, поэтому исследователи обращаются к другим подходам, таким как эмпирическое разложение мод (англ. *Empirical Mode Decomposition*, *EMD*).

EMD является адаптивным, непараметрическим методом частотно-временного анализа, выполняющим анализ внутренней структуры сигнала. Применение эмпирического разложения мод основывается на раскладывании сигнала на несколько компонентов разной частоты, называемые *IMF* (англ. *Intrinsic Mode Function*), что позволяет отделять шум от важной информации.

Перспективы применения *EEMD*

Авторы при работе с *AC Microgrids* отошли от применения искусственных нейронных сетей [8] и применили ансамблевое эмпирическое разложение мод (англ. *Ensemble Empirical Mode Decomposition*, *EEMD*) для анализа характеристик силы тока и напряжения в сети. В работе этот метод применялся для обработки сигналов силы тока и напряжения, что позволило повысить надежность сети. Обнаружение неисправности в сети выполнялось в течение 5–15 миллисекунд с точностью 90 %.

Эта работа демонстрирует, что *EEMD* эффективен для обнаружения аномалий в нестационарных сигналах, что дает основание предположить его применимость и к двумерным изображениям.

Перспективы применения *BEMD*

Сама концепция разложения сигналов на составляющие может применяться не только

для одномерных сигналов, но и для двумерных – для этого был предложен алгоритм *BEMD* (англ. *Bidimensional Empirical Mode Decomposition*) [9]. Тогда изображение раскладывается на отдельные составляющие – *IMF*. Первые *IMF* отвечают за высокочастотные детали, а последующие – за низкочастотный фон. Таким способом данный алгоритм позволяет очистить изображения от шума и оставить только значимые детали изображения.

Двумерное эмпирическое разложение мод применялось в различных задачах – обработка текстур [10], анализ медицинских изображений [11], но не выступало как алгоритм предобработки изображений в определении дефектов солнечных панелей для последующей передачи «очищенных» мод в *ANN*.

Заключение

Проведенный обзор показывает, что применение сверточных сетей является доминирующим решением в области классификации и локализации поломок на изображениях солнечных панелей. Наивысшая точность среди рассмотренных *CNN*-архитектур на снимках вблизи составила 91 % (*MobileNetV2*), однако для съемки с дронов наиболее перспективной оказалась *YOLOv8* (84 % со встроенной локализацией). В то же время методы эмпирической модовой декомпозиции (*EMD*), хоть и применялись при анализе одномерных данных, остаются малоизученными для анализа двумерных термографических изображений.

Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка гибридного подхода, в котором *EMD* будет использоваться как этап предобработки для повышения качества входных данных перед подачей в нейронную сеть. В основе нейронной сети планируется использовать архитектуру *YOLO*, которая показала себя эффективной для аэрофотосъемки, что планируется отразить в будущих научных работах.

Литература/References

1. Mehadjbia, A. Deep Learning Based Solar Panel Structural and Electrical Damage Detection / A. Mehadjbia, F. Slaoui-Hasnaoui // 2025 IEEE 4th International Conference on Computing and Machine Intelligence (ICMI). – MI, USA, 2025 – P. 1–5. – DOI: 10.1109/ICMI65310.2025.11141215.
2. Mehta, S. DeepSolarEye: Power Loss Prediction and Weakly Supervised Soiling Localization via Fully Convolutional Networks for Solar Panels / S. Mehta, A.P. Azad, S.A. Chemmengath, V. Raykar, S. Kalyanaraman // 2018 IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision

(WACV). – Lake Tahoe, NV, USA, 2018. – P. 333–342. – DOI: 10.1109/WACV.2018.00043.

3. Al Mansur, A. Determination of module rearrangement techniques for non-uniformly aged PV arrays with SP, TCT, BL and HC configurations for maximum power output / A. Al Mansur, M.R. Amin, K.K. Islam // 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE), 2019. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/ECACE.2019.8679176.

4. Abubakar, A. An Overview of ANN and SVM Approaches for Fault Detection and Diagnosis in Solar PV Systems / A. Abubakar, J.C. das Neves Neto, M. Abdussalam, C.F. Meschini Almeida, M. Gemignani // 2023 XV Brazilian Conference on Quality of Power (CBQEE). – São Luiz, Brazil, 2023. – P. 1–8. – DOI: 10.1109/CBQEE59548.2023.10503616.

5. Appavu, N. AI-Powered VGG16-based Method for Detecting, Classifying, and Visualizing Solar Panel Defects / N. Appavu // 2025 4th International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE). – Ballari, India, 2025. – P. 1–6. – DOI: 10.1109/ICDCECE65353.2025.11035772.

6. Guo, Z. Solar Panel Defect Detection on Infrared Images Based on Improved Yolov8 / Z. Guo // 2024 6th International Academic Exchange Conference on Science and Technology Innovation (IAECST). – Guangzhou, China, 2024. – P. 626–630. – DOI: 10.1109/IAECST64597.2024.11117774.

7. Jin, L. Overview of Solar Panel Defect Detection Based on Deep Learning / L. Jin, L. Wei // 2025 44th Chinese Control Conference (CCC). – Chongqing, China, 2025. – P. 8181–8186. – DOI: 10.23919/CCC64809.2025.11178813.

8. Prince, S.K. Robust Fault Detection and Characterisation in AC Microgrids using Ensemble Empirical Mode Decomposition / S.K. Prince, S.B. Elghali, S. Affijulla, G. Panda // 2023 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT EUROPE). – Grenoble, France, 2023. – P. 1–5. – DOI: 10.1109/ISGTEUROPE56780.2023.10408238.

9. Nunes, J.C. Image analysis by bidimensional Empirical Mode Decomposition / J.C. Nunes, Y. Bouaoune, E. Delechelle, O. Niang, Ph. Bunel // Image and Vision Computing, 2003. – P. 1019–1026. – DOI: 10.1016/S0262-8856(03)00094-5.

10. Nunes, J.C. Bidimensional Empirical Mode Decomposition Modified for Texture Analysis / J.C. Nunes, Y. Bouaoune, E. Delechelle, O. Niang, Ph. Bunel // Image Analysis. SCIA 2003. Lecture Notes in Computer Science, vol. 2749. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. – P. 171–177. – DOI: 10.1007/3-540-45103-X_24.

11. Saad, Al-B. Bidimensional ensemble empirical mode decomposition of functional biomedical images taken during a contour integration task / Al-B. Saad, Al-S. Karema, A. Tomé, G. Volberg, S. Hanslmayr, R. Hammwöhner, E. Lang // Biomedical Signal Processing and Control. – 2014. – Vol. 13. – P. 218–236. – DOI: 10.1016/j.bspc.2014.04.011.

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОМЫШЛЕННОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ЭКОНОМИКИ ДАННЫХ

А.Ю. ЧЕСАЛОВ

ООО «Программные системы Атлансис»,
г. Тверь

Ключевые слова и фразы: промышленная автоматизация; экономика данных; неопределенность данных; прогнозируемое обслуживание; теория Демпстера – Шафера; периферийный искусственный интеллект.

Аннотация: В статье рассматриваются ключевые вызовы, стоящие перед системами промышленной автоматизации в эпоху перехода к экономике данных. Анализируются фундаментальные противоречия между растущим объемом гетерогенной сенсорной информации и ограниченными возможностями традиционных детерминированных систем управления. Особое внимание уделяется проблеме неопределенности, порождаемой противоречивыми, зашумленными и неполными данными от устройств промышленного Интернета вещей. Предложены концептуальные подходы к построению устойчивых автоматизированных систем прогнозируемого обслуживания.

Цель исследования – систематизировать актуальные вызовы промышленной автоматизации в условиях новой экономической реальности и предложить пути их преодоления на основе интеграции передовых информационных технологий, включая искусственный интеллект, теорию свидетельств и распределенные вычисления. В работе анализируются архитектурные решения, математические модели и этические императивы, позволяющие строить надежные системы прогнозируемого обслуживания в условиях высокой неопределенности исходной информации.

Практическая значимость работы подтверждена регистрацией программных модулей для ЭВМ, реализующих разработанные алгоритмы, а также детальным описанием организационно-технических этапов внедрения систем прогнозируемого обслуживания. Полученные результаты создают теоретический задел для построения автономных, устойчивых и человекоцентричных производственных экосистем, соответствующих принципам Индустрии 4.0 и Индустрии 5.0.

Введение

Современный этап развития индустриального сектора характеризуется не просто цифровизацией отдельных операций, а фундаментальной сменой парадигмы управления, известной как переход к «экономике данных». В этой парадигме информация, генерируемая оборудованием, датчиками и производственными системами, перестает быть побочным продуктом и становится ключевым фактором производства, влияющим на конкурентоспособность и технологический суверенитет. Однако этот переход порождает нетривиальные научно-техниче-

ские задачи. Если ранее инженерные решения базировались на детерминированных моделях и жестких алгоритмах, то сегодняшняя реальность требует создания адаптивных систем, способных извлекать полезные знания из потоков неоднородных, часто противоречивых и зашумленных данных, поступающих от распределенных сенсорных сетей [1, с. 18; 2, с. 29; 3, с. 21].

Цель данной работы – систематизировать актуальные вызовы промышленной автоматизации в условиях новой экономической реальности и предложить пути их преодоления на основе интеграции передовых информационных

технологий, включая искусственный интеллект, теорию свидетельств и распределенные вычисления. В работе анализируются архитектурные решения, математические модели и этические императивы, позволяющие строить надежные системы прогнозируемого обслуживания в условиях высокой неопределенности исходной информации.

Экономика данных как новый вызов для промышленной автоматизации

Традиционные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) строились на принципах жесткой логики и заранее заданных пороговых значений. С приходом концепции «Индустрии 4.0» и сетевых предприятий, объединяющих сотни и тысячи устройств, объем обрабатываемых данных возрос экспоненциально, а их разнородность и мультимодальность стала критическим фактором. Именно здесь возникает основная коллизия: данные становятся активом только при условии их качественной обработки и интерпретации, но современные производственные среды генерируют информацию с высокой степенью неопределенности [4, с. 176; 5, с. 62].

Источники этой неопределенности многообразны.

- *Физические ограничения сенсоров.* Дрейф нуля, влияние температуры и вибраций, ограниченная разрядность АЦП.

- *Сетевые аномалии.* Задержки при передаче пакетов, потери данных, асинхронность временных меток.

- *Семантическая гетерогенность.* Данные от разных поставщиков оборудования описываются различными протоколами и единицами измерения.

- *Внешние воздействия.* Изменения климатических условий, электромагнитные помехи, человеческий фактор.

В таких условиях применение классических вероятностных подходов, требующих априорного знания распределений, становится неэффективным. На смену им приходят методы, позволяющие явно моделировать не только случайность, но и незнание, конфликт и неполноту данных.

Математические подходы к снижению неопределенности: теория свидетельств

Одним из наиболее перспективных ин-

струментов для агрегации мультисенсорной информации в системах прогнозируемого обслуживания является теория Демпстера – Шаффера (*DST*) [6, с. 77]. В отличие от байесовского подхода, *DST* оперирует не точечными вероятностями, а функциями доверия, распределенными по подмножествам гипотез. Это позволяет учитывать ситуацию, когда датчик не может однозначно определить состояние объекта, но может указать на множество возможных состояний [7, с. 365]. Анализ современных исследований показывает, что модифицированные версии *DST*, включающие адаптивное взвешивание свидетельств, значительно повышают достоверность диагноза. Особый интерес представляет комбинирование метрик расстояния (например, расстояние Хеллингера для оценки конфликта между показаниями датчиков) и мер неопределенности (энтропия Денга, учитывающая как одиночные, так и составные гипотезы). Предложенные алгоритмы позволяют динамически перераспределять веса доверия, уменьшая влияние «шумных» сенсоров на итоговое решение. Это особенно критично для многостадийных технологических процессов, где ошибка на одном этапе может вызвать каскадный отказ.

Архитектурные решения

Эффективная обработка больших данных в промышленности невозможна без продуманной распределенной архитектуры. Классическая модель «все данные в облако» неприемлема из-за задержек, требований к пропускной способности каналов и рисков информационной безопасности. В связи с этим на передний план выходит концепция периферийного искусственного интеллекта (*Edge AI*) [8, с. 203; 9, с. 9]. *Edge AI* предполагает выполнение первичной обработки, фильтрации и даже базового логического вывода непосредственно на уровне датчиков, контроллеров или шлюзов. Это позволяет: сократить время реакции до миллисекунд, что критично для систем безопасности и управления движением; снизить сетевой трафик, передавая в облако лишь агрегированные признаки или аномалии; повысить автономность системы при потере связи с центром управления.

При этом облачный уровень (*Cloud AI*) сохраняет за собой функции долгосрочного хранения исторических данных, обучения сложных нейросетевых моделей (*LSTM*, трансформеров) на больших выборках, а также построения циф-

ровых двойников высокого уровня. Гибридная модель «Edge для скорости, Cloud для глубины» становится стандартом де-факто для современных сетевых предприятий.

Интеллектуализация поддержки принятия решений

В дополнение к классическим ИИ-алгоритмам, в контур автоматизации активно внедряются большие языковые модели (*LLM*). В отличие от численных методов прогнозирования, *LLM* позволяют работать с неструктурированной текстовой информацией: журналами ремонтов, технической документацией, отчетами экспертов [10, с. 56; 11, с. 84]. Это открывает возможности для: контекстного анализа исторических отказов, которые не были зафиксированы в численных датчиках; генерации объяснимых рекомендаций для инженерного персонала, позволяющих понять логику принятия решения системой; быстрой адаптации к новым типам неисправностей путем семантического поиска в базах знаний. Однако использование *LLM* в промышленности сопряжено с проблемами «галлюцинаций» и высокой вычислительной стоимостью. Перспективным направлением является применение легковесных, открытых моделей, которые могут быть дообучены на корпоративных данных без значительных капитальных затрат и с соблюдением требований технологической независимости.

Этические и регуляторные рамки

Переход к интеллектуальным системам управления предъявляет новые требования к ответственности и безопасности. Проблема «черного ящика» в машинном обучении недопустима в отраслях с высоким риском (атомная энергетика, нефтехимия) [12, с. 21]. В связи с этим внедрение принципов объяснимого ИИ (*XAI*) становится не просто рекомендацией, а инженерным требованием [13, с. 33; 14, с. 52; 15, с. 11]. Этические вызовы включают в себя следующие аспекты.

- *Прозрачность алгоритмов.* Специалист должен понимать, на каком основании система

предлагает остановить оборудование.

- *Подотчетность.* Четкое определение субъекта ответственности при автономном принятии решений (производитель ПО, интегратор, эксплуатант).

- *Защита данных.* Обеспечение приватности и целостности данных в распределенных системах, защита от состязательных атак.

Анализ международных документов (Рекомендации ЮНЕСКО, *EU AI Act*, Кодекс этики РФ) показывает, что формируется общий вектор на человекоцентричность и обязательную возможность ручного вмешательства. Для промышленных предприятий это означает необходимость разработки внутренних политик и аудита алгоритмов на предмет предвзятости и уязвимостей [16, с. 243].

Заключение

Актуальные задачи промышленной автоматизации в условиях экономики данных выходят далеко за рамки чисто технических проблем внедрения датчиков или ПО.

Центральной проблемой становится управление неопределенностью. Успешное решение этой проблемы лежит в плоскости синтеза нескольких научно-технических направлений: применение математических моделей теории свидетельств для агрегации противоречивых сенсорных данных; построение гибридных распределенных архитектур, сочетающих скоростную обработку на периферии с глубоким анализом в облаке; интеграция больших языковых моделей в экспертные контуры для работы с неструктурированной информацией и генерации объяснимых решений; имплементация этических и регуляторных принципов на всех этапах жизненного цикла систем ИИ.

Реализация указанных подходов позволит перейти от реактивного обслуживания к по-настоящему предиктивному и предписываемому управлению, что обеспечивает не только экономию ресурсов (снижение простоев на 30–40 %), но и повышение общей безопасности и устойчивости промышленной инфраструктуры.

Литература

1. Чесалов, А.Ю. Интеллектуальные системы для промышленных предприятий. Технологии умных фабрик и прогнозируемое обслуживание : монография / А.Ю. Чесалов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2026. – 233 с. – ISBN: 978-5-7038-6747-1.

2. Чесалов, А.Ю. Интеллектуальные системы на службе заводов: как предсказать поломку и сэкономить миллионы. Технологии умных фабрик и прогнозируемое обслуживание : монография / А.Ю. Чесалов. – М. : Ridero, 2026. – 346 с. – ISBN: 978-5-0070-0487-9.
3. Чесалов, А.Ю. Применение искусственного интеллекта для реализации алгоритмов потенциала негативности рассогласования в промышленных автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания / А.Ю. Чесалов // Открытое образование. – 2025. – № 29(3). – С. 11–21. – DOI: 10.21686/1818-4243-2025-3-11-21. – EDN: YKYVTM.
4. Чесалов, А.Ю. Применение прорывных технологий искусственного интеллекта в промышленных экосистемах Индустрии 4.0. / А.Ю. Чесалов // Перспективные интеграционные процессы в мировой экономике: нооподход : сборник материалов IX Санкт-Петербургского международного экономического конгресса (СПЭК-2024) / Под общ. ред. С.Д. Бодрунова. Том 2. – М. : ИНИР им. С.Ю. Витте, 2024. – С. 176–184.
5. Чесалов, А.Ю. Математическая модель снижения неопределенности на основе теории свидетельств Демпстера – Шафера на уровне сбора данных в автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания / А.Ю. Чесалов // Динамика сложных систем – XXI век. – 2025. – Т. 19. – № 4. – С. 62–74. – DOI: 10.18127/j19997493-202504-07. – EDN: BNQZRC.
6. Чесалов, А.Ю. Методологические основы решения задачи диагностики технического состояния промышленного оборудования / А.Ю. Чесалов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2026. – № 2. – С. 77–90. – DOI: 10.14357/20718632260208. – EDN: JHUSIL.
7. Чесалов, А.Ю. Задача снижения неопределенности данных в системах прогнозируемого обслуживания на основе теории Демпстера – Шафера как элемент цифровой трансформации промышленных предприятий / А.Ю. Чесалов // Инжиниринг предприятий и управление знаниями (ИП&УЗ-2025) : сборник научных трудов XXVIII Российской научной конференции / под науч. ред. Ю.Ф. Тельнова. – М. : РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2025. – С. 365–372.
8. Чесалов, А.Ю. Роль периферийного искусственного интеллекта в реализации стратегии прогнозируемого обслуживания промышленного оборудования / А.Ю. Чесалов // Современные тенденции развития науки и мирового сообщества в эпоху цифровизации : сборник материалов 39 Международной научно-практической конференции. – М. : Изд-во Университета ИТБО, 2026. – С. 203–209. – DOI: 10.26118/8565.2026.94.45.018. – EDN: NCPVPR.
9. Чесалов, А.Ю. Тенденции развития периферийного искусственного интеллекта в автоматизации технологических процессов / А.Ю. Чесалов // Автоматизация в промышленности. – 2025. – № 7. – С. 9–14.
10. Чесалов, А.Ю. Анализ возможности применения модели OpenThinker2-32B в автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания для малых и средних промышленных предприятий / А.Ю. Чесалов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2025. – Т. 27. – № 5. – С. 56–70. – DOI: 10.18127/j19998554-202505-07. – EDN: TRJQUR.
11. Чесалов, А.Ю. Применение больших языковых моделей в автоматизированных системах прогнозируемого обслуживания промышленного оборудования / А.Ю. Чесалов // Society, science, practice : материалы XI Международной научно-практической конференции (15 декабря 2025 г., г. Москва). – М. : Университет ИТБО; КРСУ им. первого Президента Российской Федерации Б.Н. Ельцина, 2025. – С. 84–92. – DOI: 10.26118/y2517-2117-6897-r. – EDN: PFTKOO.
12. Чесалов, А.Ю. Цифровая трансформация промышленности и железнодорожного транспорта / А.Ю. Чесалов // Автоматика, связь, информатика. – 2026. – № 4. – С. 21–25. – DOI: 10.62994/AT.2026.4.4.005. – EDN: AEFCKH.
13. Чесалов, А.Ю. Этические аспекты использования искусственного интеллекта в промышленности / А.Ю. Чесалов // Автоматизация в промышленности. – 2025. – № 10. – С. 33–39.
14. Чесалов, А.Ю. Этика и искусственный интеллект / А.Ю. Чесалов // Современные информационные системы – 2022. – № 1(19). – С. 52–59.
15. Чесалов, А.Ю. Актуальные вопросы этики применения искусственного интеллекта в промышленности / А.Ю. Чесалов // Научный поиск: фундаментальные и прикладные аспекты : сборник статей III Международной научно-практической конференции (29 января 2026 г., г. Петрозаводск). – Петрозаводск : Новая наука, 2026. – С. 11–17. – DOI: 10.46916/02022026-6-978-5-00215-995-6 EDN: OOPDMA

16. Чесалов, А.Ю. Передовые направления развития промышленной автоматизации в рамках концепции человекоцентричной адаптивной стратегии развития цифрового общества / А.Ю. Чесалов // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков : сборник материалов IV Международной научно-практической конференции. – М. : Университет ИТБО, 2026. – С. 243–248. – DOI: 10.26118/7153.2026.64.69.008. – EDN: KUHWD.

References

1. CHesalov, A.YU. Intellektualnye sistemy dlya promyshlennykh predpriyatij. Tekhnologii umnykh fabrik i prognoziruemoe obsluzhivanie : monografiya / A.YU. CHesalov. – M. : Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2026. – 233 s. – ISBN: 978-5-7038-6747-1.

2. CHesalov, A.YU. Intellektualnye sistemy na sluzhbe zavodov: kak predskazat polomku i sekonomit milliony. Tekhnologii umnykh fabrik i prognoziruemoe obsluzhivanie : monografiya / A.YU. CHesalov. – M. : Ridero, 2026. – 346 s. – ISBN: 978-5-0070-0487-9.

3. CHesalov, A.YU. Primenenie iskusstvennogo intellekta dlya realizatsii algoritmov potentsiala negativnosti rassoglasovaniya v promyshlennykh avtomatizirovannykh sistemakh prognoziruemogo obsluzhivaniya / A.YU. CHesalov // Otkrytoe obrazovanie. – 2025. – № 29(3). – S. 11–21. – DOI: 10.21686/1818-4243-2025-3-11-21. – EDN: YKYVTM.

4. CHesalov, A.YU. Primenenie proryvnykh tekhnologij iskusstvennogo intellekta v promyshlennykh ekosistemakh Industrii 4.0. / A.YU. CHesalov // Perspektivnye integratsionnye protsessy v mirovoj ekonomike: noopodkhod : sbornik materialov IX Sankt-Peterburgskogo mezhdunarodnogo ekonomicheskogo kongressa (SPEK-2024) / Pod obshch. red. S.D. Bodrunova. Tom 2. – M. : INIR im. S.YU. Vitte, 2024. – S. 176–184.

5. CHesalov, A.YU. Matematicheskaya model snizheniya neopredelennosti na osnove teorii svidetelstv Dempstera – SHafera na urovne sbora dannykh v avtomatizirovannykh sistemakh prognoziruemogo obsluzhivaniya / A.YU. CHesalov // Dinamika slozhnykh sistem – XXI vek. – 2025. – T. 19. – № 4. – S. 62–74. – DOI: 10.18127/j19997493-202504-07. – EDN: BNQZRC.

6. CHesalov, A.YU. Metodologicheskie osnovy resheniya zadachi diagnostiki tekhnicheskogo sostoyaniya promyshlennogo oborudovaniya / A.YU. CHesalov // Informatsionnye tekhnologii i vychislitelnye sistemy. – 2026. – № 2. – S. 77–90. – DOI: 10.14357/20718632260208. – EDN: JHUSIL.

7. CHesalov, A.YU. Zadacha snizheniya neopredelennosti dannykh v sistemakh prognoziruemogo obsluzhivaniya na osnove teorii Dempstera – SHafera kak element tsifrovoj transformatsii promyshlennykh predpriyatij / A.YU. CHesalov // Inzhiniring predpriyatij i upravlenie znaniyami (IP&UZ-2025) : sbornik nauchnykh trudov XXVIII Rossijskoj nauchnoj konferentsii / pod nauch. red. YU.F. Telnova. – M. : REU im. G.V. Plekhanova, 2025. – S. 365–372.

8. CHesalov, A.YU. Rol periferijnogo iskusstvennogo intellekta v realizatsii strategii prognoziruemogo obsluzhivaniya promyshlennogo oborudovaniya / A.YU. CHesalov // Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i mirovogo soobshchestva v epokhu tsifrovizatsii : sbornik materialov 39 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – M. : Izd-vo Universiteta ITBO, 2026. – S. 203–209. – DOI: 10.26118/8565.2026.94.45.018. – EDN: NCPVPR.

9. CHesalov, A.YU. Tendentsii razvitiya periferijnogo iskusstvennogo intellekta v avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov / A.YU. CHesalov // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2025. – № 7. – S. 9–14.

10. CHesalov, A.YU. Analiz vozmozhnosti primeneniya modeli OpenThinker2-32B v avtomatizirovannykh sistemakh prognoziruemogo obsluzhivaniya dlya malykh i srednikh promyshlennykh predpriyatij / A.YU. CHesalov // Nejrokompyutery: razrabotka, primeneniye. – 2025. – T. 27. – № 5. – S. 56–70. – DOI: 10.18127/j19998554-202505-07. – EDN: TRJQUR.

11. CHesalov, A.YU. Primenenie bolshikh yazykovykh modelej v avtomatizirovannykh sistemakh prognoziruemogo obsluzhivaniya promyshlennogo oborudovaniya / A.YU. CHesalov // Society, science, practice : materialy XI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (15 dekabrya 2025 g., g. Moskva). – M. : Universitet ITBO; KRSU im. pervogo Prezidenta Rossijskoj Federatsii B.N. Eltsina, 2025. – S. 84–92. – DOI: 10.26118/y2517-2117-6897-r. – EDN: PFTKOO.

12. CHesalov, A.YU. TSifrovaya transformatsiya promyshlennosti i zheleznodorozhnogo transporta/

A.YU. CHesalov // Avtomatika, svyaz, informatika. – 2026. – № 4. – S. 21–25. – DOI: 10.62994/AT.2026.4.4.005. – EDN: AEFCKH.

13. CHesalov, A.YU. Eticheskie aspekty ispolzovaniya iskusstvennogo intellekta v promyshlennosti / A.YU. CHesalov // Avtomatizatsiya v promyshlennosti. – 2025. – № 10. – S. 33–39.

14. CHesalov, A.YU. Etika i iskusstvennij intellekt / A.YU. CHesalov // Sovremennye informatsionnye sistemy – 2022. – № 1(19). – S. 52–59.

15. CHesalov, A.YU. Aktualnye voprosy etiki primeneniya iskusstvennogo intellekta v promyshlennosti / A.YU. CHesalov // Nauchnij poisk: fundamentalnye i prikladnye aspekty : sbornik statej III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (29 yanvarya 2026 g., g. Petrozavodsk). – Petrozavodsk : Novaya nauka, 2026. – S. 11–17. – DOI: 10.46916/02022026-6-978-5-00215-995-6 EDN: OOPDMA

16. CHesalov, A.YU. Peredovye napravleniya razvitiya promyshlennoj avtomatizatsii v ramkakh kontseptsii chelovekotsentrichnoj adaptivnoj strategii razvitiya tsifrovogo obshchestva / A.YU. CHesalov // Razvitie nauki i praktiki v globalno menyayushchemsya mire v usloviyakh riskov : sbornik materialov IV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. – M. : Universitet ITBO, 2026. – S. 243–248. – DOI: 10.26118/7153.2026.64.69.008. – EDN: KUHWOD.

© А.Ю. Чесалов, 2026

УСЛОВНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЗНАЮЩИХ ФУНКЦИОНАЛОВ ДЛЯ ИНТЕРВАЛЬНЫХ СИСТЕМ УРАВНЕНИЙ

А.С. АНДРОСОВ, С.П. ШАРЫЙ

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр
информационных и вычислительных технологий»,
г. Новосибирск

Ключевые слова и фразы: интервал; интервальный анализ; интервальная система линейных уравнений; множество решений; распознающие функционалы; условная оптимизация; штрафная функция; *IntvalPy*.

Аннотация: В работе рассматривается условная (ограниченная) оптимизация распознающих функционалов множеств решений интервальных систем уравнений с помощью метода штрафных функций. Такая постановка возникает в задачах, где на искомые параметры накладываются дополнительные содержательные требования (например, неотрицательность). Для их учета к распознающему функционалу предлагается добавлять штрафное слагаемое. Это позволяет сохранить безусловную постановку задачи и применять уже разработанные методы негладкой оптимизации. В рамках такого подхода была сформулирована задача максимизации распознающего функционала при линейных ограничениях на параметры, предложена штрафная функция для ограничений типа равенств и неравенств, а также показано, что ее использование сохраняет важные свойства рассматриваемых функционалов. Численные эксперименты показывают, что предложенный подход позволяет находить решения, удовлетворяющие заданным ограничениям, и исключать содержательно недопустимые оценки параметров, которые могут возникать в безусловной постановке.

Введение

Работа посвящена исследованию разрешимости интервальных систем уравнений, которые возникают в задачах анализа данных с неопределенностями и неточностями, описываемыми интервалами.

Наиболее подробно исследован случай, когда на параметры восстанавливаемой зависимости не накладываются никаких дополнительных ограничений. Тогда задача сводится к безусловной глобальной максимизации распознающих функционалов [1–3]. Однако при решении многих экономических или технических задач возникают ситуации, когда необходимо соблюдать дополнительные условия: неотрицательность времени или линейная зависимость между параметрами. В качестве примера можно рассмотреть авторегрессионную модель [4], для которой необходимо выполнение определенных соотношений на искомые параметры, чтобы

процесс был стационарным.

При отсутствии дополнительных ограничений максимумы распознающих функционалов эффективно находятся с помощью субградиентного алгоритма безусловной оптимизации *ralgb5* [5], предназначенного для работы с овражными функциями. Однако максимум, найденный во всем пространстве параметров, может не удовлетворять содержательным условиям задачи. Кроме того, некоторые распознающие функционалы являются многоэкстремальными во всем исследуемом пространстве, но унимодальными в пределах каждого отдельного координатного угла (органта). Поэтому учет априорной информации о допустимых значениях параметров позволяет не только исключить неприемлемые решения, но и упростить поиск глобального максимума, что служит дополнительной мотивацией настоящей работы.

В качестве основной идеи рассматривается замена исходной задачи условной оптимизации

на эквивалентную задачу безусловной оптимизации с помощью метода штрафных функций [6]. Конструкции штрафных функций отличаются большим разнообразием, поэтому выбор конкретной функции обусловлен спецификой рассматриваемой задачи. Поскольку мы рассматриваем интервальные системы линейных уравнений и для исследования их разрешимости решаем задачу негладкой оптимизации, то можно не беспокоиться о том, чтобы штрафная функция была гладкой.

Методы штрафных функций относятся к числу наиболее распространенных способов учета ограничений в задачах оптимизации. В современных приложениях, включая задачи машинного обучения, штрафные слагаемые используются для включения априорных требований к решению, а также для регуляризации и управления сложностью моделей [7; 8]. Особенно важно, что такой подход позволяет учитывать ограничения на параметры непосредственно в максимизируемом функционале, сохраняя безусловную постановку задачи и возможность применения эффективных методов негладкой оптимизации.

Интервальные системы линейных уравнений

Интервалом $[a, b]$ вещественной оси $\mathbb{R}$ называется множество всех чисел, которые расположены между числами a и b , включая их самих, т. е.:

$$[a, b] := \{x \in \mathbb{R} \mid a \leq x \leq b\}.$$

Интервальная система линейных алгебраических уравнений (ИСЛАУ), где элементы матрицы и правой части принимают значения из заданных интервалов, формально может быть записана в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{a}_{11}x_1 + \mathbf{a}_{12}x_2 + \dots + \mathbf{a}_{1m}x_m = \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{a}_{21}x_1 + \mathbf{a}_{22}x_2 + \dots + \mathbf{a}_{2m}x_m = \mathbf{b}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{a}_{n1}x_1 + \mathbf{a}_{n2}x_2 + \dots + \mathbf{a}_{nm}x_m = \mathbf{b}_n \end{array} \right. \quad (1)$$

с интервальными коэффициентами a_{ij} и свободными членами b_i , $i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, m$. Более кратко можем представить такую систему в матрично-векторном виде:

$$\mathbf{A}x = \mathbf{b}, \quad (2)$$

где $\mathbf{A} = (\mathbf{a}_{ij})$ – интервальная $n \times m$ матрица, $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, $\mathbf{b} = (\mathbf{b}_i)$ – интервальный вектор. Здесь используется система обозначений, которая соответствует неформальному стандарту в интервальном анализе [9]. В частности, все интервальные величины обозначаются жирным шрифтом, к примеру, $\mathbf{a}$, $\mathbf{b}$, $\mathbf{c}$, ..., в то время как точечные значения никаким специальным образом не выделяются. Кроме того, будем обозначать концы интервала (т.е. его правую и левую границы), как $\underline{\mathbf{a}}$ и $\overline{\mathbf{a}}$, т.е. $\mathbf{a} = [\underline{\mathbf{a}}, \overline{\mathbf{a}}]$.

Определим основные и наиболее часто встречающиеся арифметические операции между интервалами. Основным руководящим принципом будет служить соотношение:

$$\mathbf{a} * \mathbf{b} = \{a * b \mid a \in \mathbf{a}, b \in \mathbf{b}\}, \quad * \in \{+, -, \cdot, /\},$$

согласно которому интервальные арифметические операции выполняются «по представителям». Конструктивные определения интервальных арифметических операций имеют вид:

— сложение:

$$\mathbf{a} + \mathbf{b} := [\mathbf{a} + \mathbf{b}, \bar{\mathbf{a}} + \bar{\mathbf{b}}],$$

— **ВЫЧИТАНИЕ:**

$$\mathbf{a} - \mathbf{b} := [\underline{\mathbf{a}} - \overline{\mathbf{b}}, \overline{\mathbf{a}} - \underline{\mathbf{b}}],$$

— умножение:

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{b} := [\min\{\mathbf{ab}, \mathbf{a}\bar{\mathbf{b}}, \bar{\mathbf{a}}\mathbf{b}, \bar{\mathbf{a}}\bar{\mathbf{b}}\}, \max\{\mathbf{ab}, \mathbf{a}\bar{\mathbf{b}}, \bar{\mathbf{a}}\mathbf{b}, \bar{\mathbf{a}}\bar{\mathbf{b}}\}],$$

— деление:

$$\mathbf{a}/\mathbf{b} := \mathbf{a} \cdot [1/\overline{\mathbf{b}}, 1/\underline{\mathbf{b}}], \text{ если } 0 \notin \mathbf{b}.$$

Алгебраическая система, носителем которой является множество всех интервалов вещественной оси $\mathbb{IR}$ с определенными для них интервальными арифметическими операциями сложения, вычитания, умножения и деления, называется классической интервальной арифметикой и обозначается $\mathbb{IR}$.

Помимо введенных арифметических операций, нам также понадобятся операции, с помощью которых можно получить основные характеристики рассматриваемого интервала:

— середина інтервала:

$$\text{mid } \mathbf{a} := \frac{1}{2}(\bar{\mathbf{a}} + \underline{\mathbf{a}}), \quad (3)$$

– радиус интервала:

$$\text{rad } \mathbf{a} := \frac{1}{2}(\bar{\mathbf{a}} - \underline{\mathbf{a}}), \quad (4)$$

– магнитуа интервала:

$$|\mathbf{a}| := \max \{|\bar{\mathbf{a}}|, |\underline{\mathbf{a}}|\}, \quad (5)$$

– мигнитуа интервала:

$$\langle \mathbf{a} \rangle := \begin{cases} \min \{|\bar{\mathbf{a}}|, |\underline{\mathbf{a}}|\}, & 0 \notin \mathbf{a}, \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (6)$$

Для систем уравнений, как известно, одной из наиболее важных задач является нахождение их решений, или, в более общем случае, псевдорешений. Для интервальных систем уравнений обычно рассматривают различные множества решений, образованные тем или иным способом из решений отдельных точечных систем, параметры которых принадлежат заданным интервалам.

Даже в случае интервальных линейных систем множества решений могут иметь довольно сложную структуру, так что полное и точное описание этих множеств, как правило, невозможно. С другой стороны, зачастую на практике в этом нет острой необходимости, достаточно знать лишь некоторые оценки, которые приближенно описывают множество решений. Очень популярно также нахождение какой-то одной точки из множеств решений, на которой достигается «наибольшая совместность» и т. п.

Таким образом, перед нами возникает задача получения оценок множеств решений интервальной системы линейных уравнений, где оценки напрямую зависят от понимания типа интервальной неопределенности данных [10]. Дело в том, что необходимо различать те или иные случаи прохождения графика восстанавливаемой зависимости через брусы в силу того, что экзогенные и эндогенные переменные системы (соответствующие независимым аргументам функции и зависимым переменным) различны по своему функциональному назначению и их замеры могут выполняться отлич-

ными друг от друга способами и, быть может, в разное время. Эти разные способы прохождения графика функции через брусы неопределенности соответствуют разным множествам решений интервальных систем уравнений, которые строятся по выражению для конструируемой функциональной зависимости и интервальным данным задачи.

Из множеств решений интервальных уравнений и систем уравнений наиболее широко распространено объединенное множество решений, которое было исторически первым и которому, по-видимому, было уделено наибольшее внимание в литературе. Оно образовано всевозможными решениями обычных (точечных) систем уравнений, которые получаются при фиксации точечных параметров системы в пределах назначенных им интервалов. Его строгое формальное определение выглядит следующим образом:

$$\Xi_{uni} = \{x \in \mathbb{R}^m \mid (\exists A_{i:} \in \mathbf{A}_{i:})(\exists b_i \in \mathbf{b}_i) A_{i:}x = b_i, \\ i = 1, 2, \dots, n\},$$

где $A_{i:}$ обозначает i -ю строку матрицы A , а b_i – соответствующую компоненту вектора правой части.

Определение 1. Будем говорить, что интервальная система линейных уравнений (2) является слабо разрешимой (слабо совместной), если существуют такие точечные значения $A \in \mathbf{A}$ и $b \in \mathbf{b}$, что точечная система уравнений $Ax = b$ имеет решение.

Слабая разрешимость интервальной системы уравнений эквивалентна непустоте ее объединенного множества решений.

Кроме объединенного множества решений очень важным является также допусковое множество решений. Его суть заключается в том, что мы хотим понять, а существуют ли такие входные воздействия x , что при любых возможных реализациях параметров A из $\mathbf{A}$ мы все же получим на выходе отклик $b \in \mathbf{b}$. Это множество является «наиболее устойчивым» из всех множеств AE -решений и задается следующим образом:

$$\Xi_{tol} = \{x \in \mathbb{R}^m \mid (\forall A_{i:} \in \mathbf{A}_{i:})(\exists b_i \in \mathbf{b}_i) A_{i:}x = b_i, \\ i = 1, 2, \dots, n\}.$$

Определение 2. Будем говорить, что интервальная система линейных уравнений (2) является сильно разрешимой (сильно совместной),

если для любых $A \in \mathbf{A}$ найдется такое $b \in \mathbf{b}$, что точечная система уравнений $Ax = b$ имеет решение.

Сильная разрешимость интервальной системы уравнений эквивалентна непустоте ее допускового множества решений. Так как при определении допускового множества решений использовались более «жесткие» условия на матрицу, они делают его более узким по сравнению с объединенным множеством решений, т.е. $\Xi_{tol} \subseteq \Xi_{uni}$.

Распознающие функционалы

В прикладных задачах зачастую требуется идентифицировать единственную точку, которая принадлежит интересующему нас множеству решений и «наилучшим образом» совместна (согласована) с данными. Для этого рассматривается задача распознавания разрешимости, т.е. проверки того, пусто или непусто множество решений и нахождения точки из него (в случае непустоты).

Как отмечалось выше, множества решений для интервальных систем уравнений могут пониматься в различных смыслах, в зависимости от типа интервальной неопределенности, который несут интервальные параметры системы. Все множества решений интервальных линейных систем с независимыми параметрами являются объединениями не более чем 2^m выпуклых многогранных множеств (по числу ортантов пространства $\mathbb{R}^m$), выписываемых по интервальным коэффициентам и правым частям. Как следствие, пустоту/непустоту множеств решений можно проверить, решив все эти системы линейных неравенств. Для объединенного множества решений принципиально более простого способа выявления разрешимости не суще-

ствует, так как известно, что его распознавание является NP -трудной задачей [10]. Для других множеств решений задача определения разрешимости ИСЛАУ может быть не столь трудной. В частности, распознавание непустоты допускового множества решений может быть выполнено алгоритмами с полиномиальной трудоемкостью, так как допусковое множество решений в целом можно представить как решение системы линейных алгебраических неравенств. Удобным и эффективным методом исследования разрешимости интервальных систем уравнений является метод распознающих функционалов, предложенный и развитый одним из авторов.

В задаче восстановления зависимостей «наиболее совместная» точка соответствует вектору параметров, при котором кривая конструируемой функциональной зависимости «наилучшим образом» проходит через данные с интервальной неопределенностью. Для количественной оценки меры совместности (согласования) данных одним из авторов в работах [1–3] были предложены различные функции, названные распознающими функционалами, так как знаком своих значений они «распознают» принадлежность точки соответствующему множеству решений. Очевидно, что при непустом множестве решений мера совместности должна быть положительной для всех точек, принадлежащих этому множеству, а для внутренних точек должна быть не меньше, чем для точек, принадлежащих границе. В случае отсутствия совместности (противоречивости данных) мера является отрицательной величиной.

Для исследования слабой разрешимости интервальных линейных систем были предложены следующие распознающие функционалы:

$$Uni(x, \mathbf{A}, \mathbf{b}) = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \text{rad } \mathbf{b}_i - \left\langle \text{mid } \mathbf{b}_i - \sum_{j=1}^m \mathbf{a}_{ij} x_j \right\rangle \right\}, \quad (7)$$

$$Uss(x, \mathbf{A}, \mathbf{b}) = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \text{rad } \mathbf{b}_i + \sum_{j=1}^m (\text{rad } \mathbf{a}_{ij}) |x_j| - \left| \text{mid } \mathbf{b}_i - \sum_{j=1}^m (\text{mid } \mathbf{a}_{ij}) x_j \right| \right\}, \quad (8)$$

которые являются непрерывными, но многоэкстремальными функциями. Последнее обстоятельство обусловлено спецификой объединенного множества решений, которое в общем случае является невыпуклым полиэдральным

множеством.

Важным отличием между этими двумя функционалами является то, что $Uni(x)$ достигает своего конечного максимума по x на всем пространстве $\mathbb{R}^m$, а $Uss(x)$ может быть неогра-

ниченным. Однако, если множество решений ограничено, то функционал $U_{ss}(x)$ ограничен сверху и достигает конечного глобального максимума на всем пространстве.

Для допускового множества решений существует один распознающий функционал:

$$Tol(x, A, b) = \min_{1 \leq i \leq n} \left\{ \text{rad } b_i - \left| \text{mid } b_i - \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \right| \right\}, \quad (9)$$

который обладает очень хорошими свойствами, в частности, является непрерывной, вогнутой и ограниченной функцией.

Таким образом, для нахождения «наиболее значимой» точки, при которой достигается наибольшая совместность (согласование) с данными, мы должны решить задачу глобальной максимизации необходимого распознающего функционала и в качестве оценки параметров взять аргумент, доставляющий этот максимум. Этот способ оценивания параметров восстанавливаемой зависимости называется, как известно, методом максимума совместности. Обозначим через M глобальный максимум какого-нибудь рассматриваемого по смыслу задачи функционала. Тогда:

- если $M \geq 0$, то соответствующее множество решений непусто и эта точка ему принадлежит;
- если $M < 0$, то соответствующее множество решений является пустым множеством, но в этой точке достигается наименьшая несогласованность с данными.

Для поиска вектора параметров, на котором достигается глобальный максимум функционала (9), активно применяется субградиентный алгоритм оптимизации для выпуклых вогнутых функций *ralgb5*, разработанный П.И. Стецюком [5]. Этот алгоритм можно применять также для распознающих функционалов (7) и (8), но из-за их многоэкстремальности поиск глобального максимума требует дополнительных специальных модификаций общей вычислительной технологии.

Тем не менее известно [1; 2], что в каждом отдельном органте (координатном угле) пространства $\mathbb{R}^m$ рассмотренные выше распознающие функционалы являются вогнутыми. Кроме того, на практике часто встречаются задачи, в которых требуется выполнение каких-то дополнительных условий на искомые параметры.

Хорошо развитые методы теории оптимизации могут быть использованы для модификации уже проверенного временем метода безусловной оптимизации *ralgb5* с тем, чтобы учитывались возможные ограничения на переменные. В частности, можно применить метод штрафных функций, который позволяет использовать алгоритм безусловной оптимизации для решения задач с ограничениями без дополнительных изменений самого исходного алгоритма.

Метод штрафных функций

Этот метод был впервые применен Рихардом Курантом в 1943 г. [6] и с тех пор сделался одним из самых популярных методов условной оптимизации.

Метод штрафных функций широко применяется для нахождения условных экстремумов различных целевых функций. Кроме того, он также прост в реализации и может использоваться в задачах как непрерывной, так и дискретной оптимизации. Идея метода заключается в преобразовании исходной задачи с ограничениями в последовательность задач (или даже одну задачу) безусловной оптимизации, т. е. без ограничений. Это достигается путем построения специальной штрафной функции, которая добавляется к целевой функции исходной задачи с целью сделать нарушение любого из ограничений невыгодным с точки зрения результатов, полученных из задачи безусловной оптимизации.

Сформулируем на математическом языке исходную задачу и задачу, модифицированную с помощью штрафной функции. Традиционно в литературе метод штрафных функций формулируется для задач минимизации, но мы опишем его для задачи нахождения максимума, к которой легко перейти от задачи минимизации. Кроме того, будем считать, что ограничения на переменные имеют линейный вид.

Исходная задача максимизации

найти $\max f(x)$

при условиях $Gx \leq p, Hx = q,$ (10)

где матрицы $G = (g_{kj})$, $H = (h_{lj})$, $k = 1, 2, \dots, K$, $j = 1, 2, \dots, m$, $l = 1, 2, \dots, L$, а также векторы $p = (p_1, p_2, \dots, p_K)^T$, $q = (q_1, q_2, \dots, q_L)^T$ задают ограничения на вектор переменных $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)^T$.

**Модифицированная задача
(задача со штрафом)**

найти $\max (f(x) - \mu\alpha(x))$
при условии $\mu > 0$, (11)

где μ – некоторый коэффициент, а $\alpha(x)$ – непрерывная функция, которая принимает значения больше нуля там, где не выполняются ограничения исходной задачи оптимизации (10), и равна нулю для остальных значений аргумента. В нашей задаче штрафную функцию можно брать негладкой, т. к. сами целевые функции – распознающие функционалы – являются негладкими.

В качестве штрафной функции для распознающих функционалов (7), (8) и (9) мы предлагаем функцию вида:

$$\alpha(x) = \sum_{k=1}^K \max\{0, G_k \cdot x - p_k\} + \sum_{l=1}^L |H_l \cdot x - q_l|, \quad (12)$$

где G_k и H_l – соответствующие строки матриц, фигурирующих в ограничениях (10). В результате мы будем решать следующую задачу максимизации:

$$f(x, \mathbf{A}, \mathbf{b}) - \mu\alpha(x) \rightarrow \max, \quad (13)$$

где f – какой-либо распознающий функционал из описанных в предыдущем разделе, $\mu > 0$, а функция $\alpha(x)$ задается выражением (12).

Следующим шагом необходимо показать, что штрафная функция (12) обладает достаточно хорошими свойствами, которые не изменяют свойства распознающих функционалов.

Предложение 1. Функция $\alpha(x)$ является непрерывной относительно любого из своих аргументов.

Это следует из того, что функция (12) является линейной комбинацией непрерывных функций.

Предложение 2. Функция $\alpha(x)$ является выпуклой на всем пространстве $\mathbb{R}^m$.

Доказательство. Линейные функции $G_k \cdot x - p_k$, $H_l \cdot x - q_l$ и тождественно нулевая функция – выпуклые, а потому их поточечный максимум – тоже выпуклая функция. Наконец, сумма выпуклых функций является выпуклой. По этой причине функция (12) выпукла.

Таким образом, в рамках задачи оптимизации (13) мы получаем вогнутую функцию, кото-

рая сохраняет хорошие свойства распознающих функционалов и позволяет перейти к условной оптимизации с помощью субградиентного метода *ralgb5*.

Рассмотренный выше подход предполагает необходимость решения последовательности задач оптимизации с возрастающими значениями штрафного коэффициента. Таким образом, практичность напрямую зависит от того, сколько итераций необходимо сделать, чтобы вектор переменных удовлетворял ограничениям из задачи (10).

Отметим, что если матрица G , вектор p и q состоят из нулей, а матрица H единичная, то построенная выше штрафная функция совпадает с так называемой «лассо-регуляризацией» (называемой также L_1 -регуляризацией) [7]. Она помогает предотвратить переобучение модели машинного обучения путем добавления штрафа в функцию потерь за большие значения параметров модели. Это может быть полезно, если в задаче рассматриваются ненакрывающие измерения [11; 12], т. е. когда интервальные данные, которые могут не содержать истинные значения переменных.

Численные результаты

В этом параграфе мы проведем численное тестирование алгоритма на различных интервальных линейных системах. Для этого мы модифицировали метод суперградиентного подъема на языке *Python* для функционалов *Uni*, *Uss*, *Tol* и внедрили его в библиотеку интервальных вычислений *IntvalPy* [13]. Вычисления производятся на *AMD Ryzen 5 7600X 6-Core Processor 4.70 GHz*, *32 GB RAM*.

Пример 1. Рассмотрим интервальную линейную систему, у которой объединенное множество решений неограниченно:

$$\begin{cases} [2, 3]x_1 + [-1, 2]x_2 = [0, 60], \\ [1, 2]x_1 + [1, 3]x_2 = [10, 72], \\ [-1, 1]x_1 + [0, 1]x_2 = [-10, 36]. \end{cases} \quad (14)$$

На рис. 1 представлены визуализации объединенного множества решений и значений распознающих функционалов с помощью тепловых карт. Тепловые карты представляют собой двумерные графики, в которых два измерения данных отображены на осях x_1 и x_2 , а третье из-

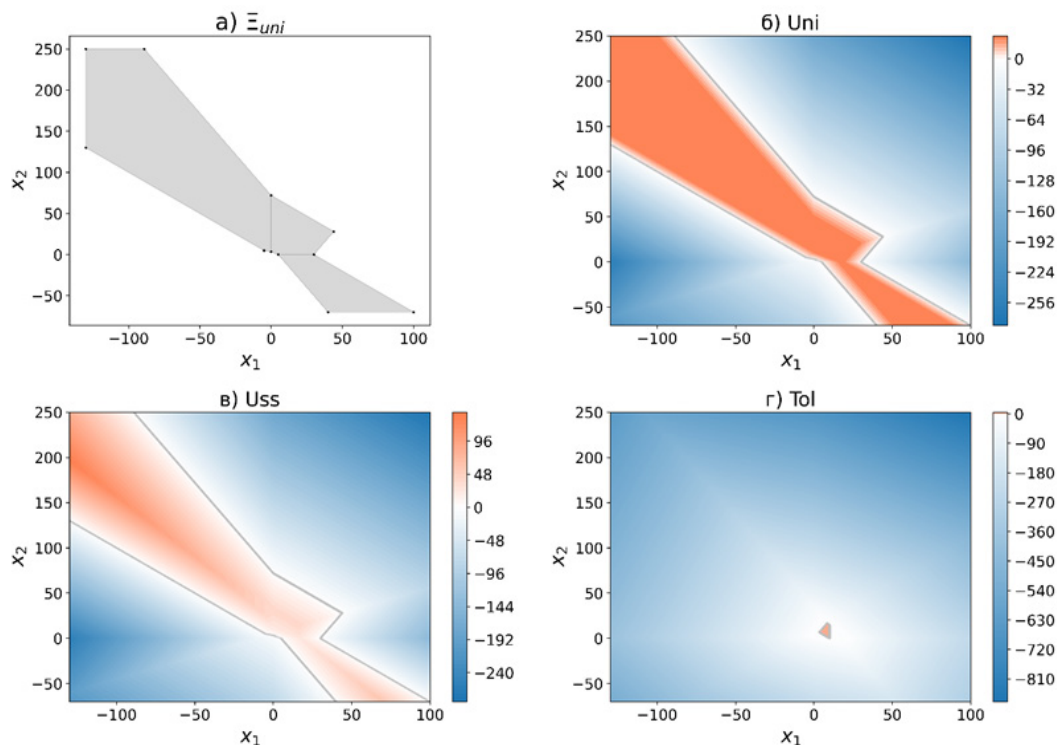


Рис. 1. Множество решений и значения распознающих функционалов для системы (14)

мерение, соответствующее значениям функционалов, представлено в виде цветовой градации. Цвет играет ключевую роль в интерпретации полученных результатов.

На графике а) изображено объединенное множество решений, состоящее из всех возможных решений точечных систем уравнений, содержащихся в рассматриваемой интервальной системе. Точки, по которым строилось это множество с помощью метода граничных интервалов (см. [14], где они называются ориентирами), отмечены черным.

График б) иллюстрирует уровни значений распознающего функционала Uni . На тепловой карте серым цветом отображены области со значением функционала, равным нулю. Области, окрашенные в синий цвет, соответствуют отрицательным значениям, и по мере уменьшения функционала цвет становится более насыщенным. Области, окрашенные в красный цвет, соответствуют положительным значениям функционала. Отметим, что функционал Uni для рассматриваемой системы характеризуется наличием плато глобального максимума.

На графике в) представлены значения распознающего функционала Uss и можно увидеть, функционал демонстрирует неограни-

ченный рост, стремясь к бесконечности. Такой эффект может возникнуть при чрезмерной неопределенности исходных данных, которая часто встречается при их агрегации или в случае наличия значительных ошибок измерений (например, аномальные выбросы). Как видим, эта большая неопределенность имеет следствием также неоднозначные математические результаты, которые не позволяют четко определить искомые параметры, хотя нередко эта ситуация может подкрепляться каким-то жестким пониманием исследуемого процесса, касающимся его физической природы и значений переменных. На графике г) отображено допустимое множество решений системы.

Найдем глобальный максимум для распознающих функционалов, когда по условию задачи все переменные находятся в первом ортанте, т.е. будем рассматривать область $\Omega = \{(x_1, x_2) \mid x_1 \in [0, \infty], x_2 \in [0, \infty]\}$. В качестве начального приближения для оптимизационных методов возьмем точку (0,60). В табл. 1 продемонстрированы полученные результаты, где $\max f(x)$ – максимальное значение целевой функции, $\arg \max f(x)$ – аргумент, на котором достигается максимум функции, N_{it} – затраченное количество итераций, t_{cpu} – усредненное 50-ю запуска-

Таблица 1. Численные результаты условной оптимизации для системы (14)

f	μ	$\max f(x)$	$\arg \max f(x)$		N_{it}	t_{cpu}
			x_1	x_2		
Uni	0,0	23,0	-3,8962	56,1038	2	0,008
	0,00001	22,99995	-3,8962	56,1038	2	0,007
	10,0	23,0	0,1558	47,1230	33	0,008
Uss	0,0	$1,63 \cdot 10^8$	$-2,95 \cdot 10^8$	$3,77 \cdot 10^8$	2	0,051
	0,00001	$1,63 \cdot 10^8$	$-2,95 \cdot 10^8$	$3,77 \cdot 10^8$	2	0,056
	10,0	41,0	5,5214	25,4786	76	0,031
Tol	0,0	4,0	6,0	8,0	125	0,031
	0,00001	4,0	6,0	8,0	120	0,028
	10,0	4,0	6,0	8,0	122	0,031

ми время выполнения задачи в секундах.

Изучая результаты, можно заметить, что при небольших значениях коэффициента штрафа μ решение задачи оптимизации выходит за пределы области допустимых решений. Это происходит из-за того, что штраф за выход за границы ограничений оказывается недостаточным, и небольшое уменьшение целевой функции за счет штрафа не компенсируется тем увеличением, которое было достигнуто за счет выхода за границы ограничений. При выборе достаточно большого коэффициента μ решение вспомогательной задачи (11) «загоняется» в область допустимых решений и может быть сделано сколь угодно близким к оптимальному решению исходной задачи (10). Тем не менее отметим, что слишком большие значения μ могут приводить к вычислительным проблемам и преждевременной остановке оптимизационного процесса [15]. Поэтому рекомендуется применять стратегию возрастающего штрафа, при которой предполагается решение последовательности вспомогательных задач, где оптимизационный алгоритм для каждой последующей задачи иницируется из оптимума, достигнутого на предыдущем уровне штрафного коэффициента.

Пример 2. В качестве второго примера рассмотрим интервальную систему, построенную на основе широко известной системы Ноймайера – Райхмана [16; 17; 10]:

$$\begin{cases} \theta x_1 + [0, 2]x_2 + \dots + [0, 2]x_m = \theta, \\ [0, 2]x_1 + \theta x_2 + \dots + [0, 2]x_m = [0, 2], \\ \vdots \quad \quad \quad \ddots \quad \quad \quad \vdots \\ [0, 2]x_1 + [0, 2]x_2 + \dots + \theta x_m = [0, 2], \end{cases} \quad (15)$$

где $\theta \geq 0$ – вещественный параметр. Для системы размера $m \times m$ соответствующая интервальная матрица остается невырожденной при $\theta > m$ для четных m и при $\theta > \sqrt{m^2 - 1}$ для нечетных m . При приближении θ к этим пороговым значениям размеры объединенного множества решений системы (15) неограниченно растут. В рамках данного примера будем записывать эту систему в сокращенном виде $Ax = b$, по аналогии с обозначением, использованным для системы (2).

Отметим, что система (15) представляет собой модификацию исходной интервальной системы Ноймайера – Райхмана. В первом уравнении системы правая часть задана не интервальной величиной, а точным значением θ . Такая модификация приводит к появлению плато значений распознающего функционала *Uni*, что создает дополнительную сложность для задачи оптимизации.

Далее без ограничения общности в вычислительных экспериментах рассматривались только системы с четным m . В таком случае граница необратимости соответствующей матрицы A определяется условием $\theta = m$ и параметр θ выбирался около этой границы:

$$\theta = m + 10^{-2}.$$

Таблица 2. Численные результаты безусловной и условной оптимизаций для систем (15) и (16)

f	m	Безусловная			Условная		
		$\sum_{i=1}^m x_i$	N_{it}	t_{cpu}	$\sum_{i=1}^m x_i$	N_{it}	t_{cpu}
Uni	30	2,76	30	0,002	7,35	53	0,008
	100	2,92	30	0,026	24,74	61	0,069
	300	2,97	30	0,061	68,71	34	0,105
	500	2,98	30	0,149	100,0	103	0,533
	1000	2,99	30	0,551	100,0	99	1,56
	10000	3,0	30	58,18	100,0	96	132,8
Uss	30	1,94	30	0,002	7,46	42	0,006
	100	1,98	30	0,026	26,11	33	0,037
	300	1,99	30	0,058	71,02	62	0,179
	500	2,0	30	0,144	100,0	102	0,517
	1000	2,0	30	0,538	100,0	103	1,648
	10000	2,0	30	57,49	100,0	98	140,0
Tol	30	1,0	30	0,002	0,35	37	0,006
	100	1,0	30	0,025	0,35	37	0,045
	300	1,0	30	0,061	0,35	37	0,119
	500	1,0	30	0,149	0,35	37	0,259
	1000	1,0	30	0,54	0,35	37	0,862
	10000	1,0	30	57,52	0,35	37	81,99

Близость θ к этому пороговому значению означает, что размер объединенного множества решений системы (15) является достаточно большим. Таким образом, рассматривается система, для которой максимизация распознающих функционалов *Uni* и *Uss* усложняется по тем же причинам, что и в первом примере. Для распознающего функционала *Tol* аналогичная трудность не возникает, поскольку он обладает благоприятным для оптимизации свойством унимодальности.

Для решения задачи условной оптимизации система (15) рассматривается вместе с дополнительными ограничениями на параметры:

$$\begin{cases} \mathbf{Ax} = \mathbf{b}, \\ 0 \leq x_i \leq 0,35, \quad i = 1, \dots, m, \\ 0 \leq \sum_{i=1}^m x_i \leq 100. \end{cases} \quad (16)$$

Ограничения такого вида имеют естествен-

ную прикладную интерпретацию. Например, так выглядят ограничения в задачах распределения ограниченного ресурса между несколькими объектами. В этом случае x_i описывает объем ресурса, направляемого на i -й объект, а верхняя граница $x_i \leq 0,35$ задает индивидуальное ограничение для каждого объекта. Оно выбрано из соображений вычислительного удобства. Условие на сумму параметров отражает наличие общего количества ресурсов.

Для учета ограничений использовался штрафной коэффициент:

$$\mu = \theta + 2(m - 1).$$

При таком выборе коэффициента алгоритм оптимизации во всех рассмотренных задачах завершался успешно, а найденные решения удовлетворяли введенным ограничениям на параметры. В качестве начального приближения для оптимизационных методов использовался вектор, все координаты которого равны единице.

Таблица 3. Набор данных по динамике ставок и объему средств

Дата	Ключевая ставка, %	Ставка банка, %	Ставка конкурентов, %	Денежная масса, млрд руб.	Объем средств, млрд руб.
III квартал 2015 г.	[11,0; 11,5]	[6,89; 11,04]	[7,65; 9,55]	[31 936; 32 361]	[484,6; 539,9]
IV квартал 2015 г.	11,0	[6,59; 10,35]	[7,32; 9,35]	[32 053; 35 180]	[539,9; 631,1]
I квартал 2016 г.	11,0	[5,91; 10,0]	[6,57; 9,49]	[33 967; 35 180]	[631,1; 634,1]
II квартал 2016 г.	[10,5; 11,0]	[5,74; 9,85]	[6,38; 9,0]	[34 689; 35 857]	[623,3; 634,1]
III квартал 2016 г.	[10,0; 10,5]	[5,45; 9,13]	[6,05; 8,34]	[35 857; 36 170]	[623,3; 632,0]
IV квартал 2016 г.	10,0	[5,09; 8,79]	[5,65; 7,64]	[36 051; 38 418]	[632,0; 646,7]
I квартал 2017 г.	[9,75; 10,0]	[3,68; 8,40]	[4,09; 7,83]	[38 017; 38 555]	[627,1; 646,7]
II квартал 2017 г.	[9,0; 9,75]	[4,63; 7,94]	[5,14; 7,27]	[38 555; 39 623]	[627,1; 715,3]
III квартал 2017 г.	[8,5; 9,0]	[4,48; 7,54]	[4,97; 6,9]	[39 276; 39 623]	[715,3; 762,9]
IV квартал 2017 г.	[7,75; 8,5]	[4,17; 7,4]	[4,63; 7,0]	[39 571; 42 442]	[762,9; 821,2]
I квартал 2018 г.	7,25	[4,52; 7,25]	[5,02; 6,73]	[41 598; 42 442]	[806,4; 821,2]
II квартал 2018 г.	7,25	[3,89; 6,45]	[4,32; 6,02]	[42 377; 44 127]	[806,4; 890,6]
III квартал 2018 г.	[7,25; 7,5]	[3,95; 6,71]	[4,39; 6,05]	[43 910; 44 369]	[890,6; 895,8]
IV квартал 2018 г.	[7,5; 7,75]	[4,22; 7,43]	[4,69; 6,87]	[44 218; 47 109]	[895,8; 968,9]
I квартал 2019 г.	7,75	[4,66; 7,72]	[5,18; 7,09]	[45 721; 47 109]	[968,9; 1 000,9]
II квартал 2019 г.	[7,5; 7,75]	[4,7; 7,54]	[5,22; 6,92]	[46 141; 47 349]	[1 000,9; 1 071,8]
III квартал 2019 г.	[7,0; 7,5]	[4,12; 7,14]	[4,58; 6,69]	[47 349; 48 267]	[1 071,8; 1 118,4]
IV квартал 2019 г.	[6,25; 7,0]	[3,43; 6,48]	[3,81; 6,16]	[48 082; 51 660]	[1 118,4; 1 187,5]

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показывает, что для функционалов *Uni* и *Uss* введение ограничений существенно меняет найденные решения. В безусловной постановке сумма параметров остается малой и почти не зависит от размерности системы. Однако при этом отдельные параметры могут выходить за допустимые границы, в том числе принимать отрицательные значения. В условной постановке решение смещается в допустимую область и с ростом размерности все более существенным становится ограничение на сумму параметров. При $m \geq 500$ это ограничение становится наиболее трудно достижимым, что приводит к заметному росту числа итераций и увеличению времени решения задачи условной оптимизации примерно в три раза по сравнению с безусловной постановкой. Тем не менее даже при размерности $m = 10\,000$ время вычислений не превышает трех минут, что более чем приемлемо для решения прикладных задач с таким большим количеством параметров.

Для функционала *Tol* влияние ограничений

выражено значительно слабее. Дополнительный учет штрафной функции (12) изменяет найденное решение, однако практически не увеличивает число итераций и затрачиваемое время на его поиск. Такое поведение хорошо согласуется с тем, что функционал *Tol* является унимодальной функцией.

Пример 3. Рассмотрим практически важную задачу, касающуюся управления банковскими учреждениями. Ввиду сложности получения точных данных для конкретного банка, мы обратимся к официальной агрегированной статистике, публикуемой Центральным банком Российской Федерации (**ЦБ РФ**) [18]. Это позволит нам создать квазиэкспериментальные данные, которые, хотя и не обладают высокой прикладной ценностью, будут достаточно близки к реальным условиям.

Опишем процесс управления банком с точки зрения привлечения средств. Одним из ключевых источников средств являются срочные вклады физических лиц. Одним из конкурентных преимуществ банка в этом контексте

является возможность предлагать более высокие процентные ставки по сравнению с конкурентами. Однако увеличение ставок по вкладам снижает банковскую маржу – разницу между процентными ставками по кредитам и вкладам, что может уменьшить прибыль. Следовательно, в стратегическом планировании банка необходимо определить оптимальный баланс между объемом привлеченных средств и ожидаемой прибылью. Кроме этого, существуют различные взаимосвязи между ставками банка и конкурентов, а также с ключевой ставкой ЦБ РФ. Таким образом, возникает необходимость в определении способов корректировки продуктовых ставок в ответ на изменение ключевой ставки для достижения желаемого прироста объема средств физических лиц на срочных вкладах с учетом реакций конкурентов.

Для решения сформулированной задачи разрабатываются модели машинного обучения, к которым предъявляются различные требования. Это может быть, например, интерпретируемость, высокая точность прогнозирования, существенная зависимость целевой переменной от заданных признаков и так далее. В рассматриваемом примере мы сосредоточимся исключительно на требованиях к набору признаков и их влиянии на целевую переменную. Из-за коммерческой тайны обработке будут подвергнуты данные, которые доступны на сайте ЦБ РФ [18].

В качестве целевой переменной рассматривается объем вкладов физических лиц в акционерном обществе «Газпромбанк», представленный в виде интервальных величин. Эти интервалы отражают диапазон изменений объема средств внутри банка в течение квартала. Поскольку данные доступны только с квартальной детализацией, то без ограничения общности будем рассматривать именно этот уровень агрегации.

Продуктовые ставки представлены в виде средневзвешенных значений, рассчитанных по объему депозитов в различных сроках. В отсутствие детализированных данных для отдельных банков, будем считать, что ставки конкурентов совпадают с рыночными. Чтобы проанализировать временной ряд с квартальной детализацией и предотвратить переобучение модели из-за ограниченного объема данных, проводится их агрегирование. Обычно используется среднее значение, однако это может привести к потере информации. Поэтому предлагается проводить интервальное агрегирование данных, при

котором левый конец интервала соответствует минимальной средневзвешенной ставке за квартал, а правый – максимальной (табл. 3).

Ставки банка также представлены в виде интервалов, у которых левая граница на 10 % меньше минимальной ставки конкурентов за квартал, а правая – значение максимальной ставки десяти ведущих кредитных организаций по привлечению депозитов от физических лиц.

Для более точной оценки необходимы данные из первичных источников. Интервальность в значениях ключевой ставки возникает из-за изменения этой ставки в течение квартала. Дополнительно в пространство признаков включена денежная масса (денежный агрегат $M2$), величина которой отражает наименьшие и наибольшие значения за квартал. Эта переменная позволит отслеживать рост рынка, т.к. она включает наличные деньги в обращении и безналичные средства.

Теперь, когда мы собрали и предобработали данные, зафиксируем функциональную зависимость и введем требования на взаимосвязи между признаками и целевой переменной. В качестве модельной функции рассмотрим линейную:

$$x_1 + \text{key}_t x_2 + \text{bank}_t x_3 + \text{comp}_t x_4 + m2_t x_5 = V_t, \quad (17)$$

где t – дата наблюдения, **key** – ключевая ставка, **bank** и **comp** – средневзвешенные ставки банка и его конкурентов соответственно, **m2** – денежная масса, **V** – объем средств физических лиц внутри банка.

Рассмотрим три сценария, которые предполагают, что если произошел сдвиг ставок банка, то он является одновременным сдвигом для всех продуктов внутри банка:

- ключевая ставка уменьшилась на 0,5 процентных пункта (**п.п.**), конкуренты уменьшили ставки на 0,4 п.п., банк ставки не изменил;
- ключевая ставка уменьшилась на 0,5 п.п., конкуренты уменьшили ставки на 0,4 п.п., банк уменьшил ставки на 0,6 п.п.;
- ключевая ставка не изменилась, конкуренты уменьшили ставки на 1 п.п., банк уменьшил ставки на 0,8 п.п.

В первом сценарии мы ожидаем увидеть такую чувствительность целевой переменной к изменениям признаков, что объем средств банка увеличится не менее чем на 0,5 млрд руб.

Таблица 4. Численные результаты условной оптимизации для системы (20)

f	μ	$\max f(x)$	$\arg \max f(x)$					N_{it}	t_{cpu}
			x_1	x_2	x_3	x_4	x_5		
Uni	0	1,5	-2,04	-63,22	30,90	19,63	0,02	14	0,001
	3	-8,01	-754,13	24,89	28,89	-33,17	0,03	63	0,002
	30	1,5	-512,78	19,02	24,37	-29,83	0,03	63	0,002
Uss	0	$5,23 \cdot 10^8$	$-9,92 \cdot 10^7$	$-7,07 \cdot 10^8$	$8,29 \cdot 10^8$	$2,37 \cdot 10^8$	-5505,0	16	0,003
	3	67,75	-1133,8	26,2	30,0	-34,0	0,04	261	0,005
	30	62,27	-1045,2	23,0	25,0	-30,0	0,04	265	0,006
Tol	0	-70,70	-16,91	-28,86	0,0	0,0	0,03	231	0,007
	3	-132,4	-618,33	7,0	0,0	-10,0	0,03	252	0,008
	30	-168,9	-947,08	20,33	20,83	-26,67	0,04	277	0,009

Во втором сценарии предполагается, что объем средств уменьшится не менее чем на 12 млрд руб. Третий сценарий предполагает рост объема не менее чем на 10 млрд руб.

На примере первого сценария поясним, как можно формально записать эти условия. Выпишем вид выражения (17) при изменении признаков:

$$x_1 + (\mathbf{key}_t - 0,5)x_2 + \mathbf{bank}_t x_3 + (\mathbf{comp}_t - 0,4)x_4 + \mathbf{m2}_t x_5 = \check{V}_t. \quad (18)$$

Чтобы учесть, что $\check{V}_t - V_t \geq 0,5$, вычтем из (18) выражение (17) и заметим, что значения интервальных величин в обоих уравнениях должны быть одинаковыми, т.к. являются одной и той же сущностью. Как следствие, интервальные величины сократятся, и мы получим условие:

$$-0,5x_2 - 0,4x_4 \geq 0,5. \quad (19)$$

Аналогичным образом получим условие для двух других сценариев и дополнительно добавим ограничения, что каждый параметр для признаков ставок изменяется в заданных фиксированных пределах. В итоге получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} x_1 + \mathbf{key}_t x_2 + \mathbf{bank}_t x_3 + \mathbf{comp}_t x_4 + \mathbf{m2}_t x_5 = V_t, \\ -0,5x_2 - 0,4x_4 \geq 0,5, \\ -0,5x_2 - 0,6x_3 - 0,4x_4 \leq -12,0, \\ -30 \leq x_2 \leq 30, \quad -30 \leq x_3 \leq 30, \quad -30 \leq x_4 \leq 30. \end{cases} \quad (20)$$

Для системы (20) найдем глобальный максимум распознающих функционалов, где в качестве начального приближения для оптимизационных методов возьмем единичный вектор. Табл. 4 демонстрирует полученные результаты. Отметим, что для распознающего функционала *Uss* отсутствие ограничений на параметры приводит к тому, что аргумент, на котором достигается максимум, становится труднопонижаемым и малореалистичным с точки зрения исследуемого процесса. Так, для параметра при переменной, описывающей денежную массу, получено значение $x_5 = -5505$. Такая оценка означает, что рост денежного агрегата *M2* на 1 млрд руб. должен был бы приводить к снижению объема привлеченных средств примерно на 5505 млрд руб. Это явно несопоставимо с масштабом самих наблюдений, поскольку объем вкладов в используемом наборе данных составляет порядка 1 млрд руб. Поэтому полученное значение параметра не имеет содержательной интерпретации как характеристики влияния денежной массы на целевую переменную.

Аналогичный вывод можно сделать и для функционала *Tol*, где без ограничений на параметры мы наблюдаем отсутствие зависимости между ставками и целевой переменной.

Заключение

В работе развит подход к нахождению условных максимумов распознающих функционалов множеств решений интервальных систем уравнений, основанный на использовании метода штрафных функций. Предложена штрафная функция для ограничений типа равенств и неравенств, которая сохраняет важные свойства рассматриваемых функционалов.

Авторы модифицировали алгоритм суперградиентного подъема из [5] на языке *Python* для распознающих функционалов объединенного и допускового множеств решений и включили его в библиотеку интервальных вычислений *IntvalPy* [13]. Новая функциональность позволяет использовать готовые численные методы для решения прикладных задач с интервальной неопределенностью в данных и дополнительными линейными ограничениями на переменные.

Литература

1. Шарый, С.П. Разрешимость интервальных линейных уравнений и анализ данных с неопределенностями // Автоматика и Телемеханика / С.П. Шарый. – 2012. – № 2. – С. 111–125. – EDN: ORPFNP.
2. Шарый, С.П. Распознавание разрешимости интервальных уравнений и его приложения к анализу данных / С.П. Шарый, И.А. Шарая // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18. – № 3. – С. 80–109. – EDN: QYPDSX.
3. Шарый, С.П. Сильная согласованность в задаче восстановления зависимостей при интервальной неопределенности данных / С.П. Шарый // Вычислительные технологии. – 2017. – Т. 22. – № 2. – С. 150–172. – EDN: YPLUGX.
4. Box, G.E.P. Time series analysis: forecasting and control / G.E.P. Box, G.M. Jenkins. – San Francisco : Holden-Day, 1976. – XXI, 575 p.
5. Стецюк, П.И. Субградиентные методы *ralgb5* и *ralgb4* для минимизации овражных выпуклых функций / П.И. Стецюк // Вычислительные технологии. – 2017. – Т. 22. – № 2. – С. 127–149. – EDN: WDNFFW.
6. Courant R. Variational methods for the solution of problems of equilibrium and vibrations / R. Courant // Bulletin of the American Mathematical Society. – 1943. – Vol. 49. – No. 1. – P. 1–23. – DOI: 10.1090/S0002-9904-1943-07818-4.
7. Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the lasso / R. Tibshirani // Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological). – 1996. – Vol. 58. – No. 1. – P. 267–288. – DOI: 10.1111/j.2517-6161.1996.tb02080.x.
8. Николенко, С. Глубокое обучение. Погружение в мир нейронных сетей / С. Николенко, А. Кадурын, Е. Архангельская. – СПб. : Питер, 2018. – 480 с.
9. IEEE Std 1788-2015. IEEE standard for interval arithmetic [Electronic resource]. – Access mode : <https://standards.ieee.org/standard/1788-2015.html>.
10. Шарый, С.П. Конечномерный интервальный анализ / С.П. Шарый. – Новосибирск : XYZ, 2026. – 677 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www-sbras.nsc.ru/interval/Library/InteBooks/SharyBook.pdf>.
11. Баженов, А.Н. Обработка и анализ интервальных данных / А.Н. Баженов, С.И. Жилин, С.И. Кумков, С.П. Шарый. – М., Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2024. – 356 с. – EDN: FOKVPI.
12. Shary, S.P. Enclosing vs. non-enclosing measurements in interval data processing: A presentation at International Online Seminar on Interval Methods in Control Engineering / S.P. Shary, 2022. – DOI: 10.13140/RG.2.2.34844.62087.
13. Андросов, А.С. *IntvalPy* – библиотека интервальных вычислений на языке *Python* / А.С. Андросов, С.П. Шарый // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2022. – Т. 20. – № 4. – С. 5–23. – DOI: 10.25205/1818-7900-2022-20-4-5-23. – EDN: XLUGOI.
14. Шарая, И.А. Метод граничных интервалов для визуализации полиэдральных множеств решений / И.А. Шарая // Вычислительные технологии. – 2015. – Т. 20. – № 1. – С. 75–103. – EDN: TPHVUR.
15. Базара, М. Нелинейное программирование. Теория и алгоритмы / М. Базара, К. Шетти. –

М. : Мир, 1982. – 583 с.

16. Neumaier, A. Interval methods for systems of equations / A. Neumaier. – New York : Cambridge University Press, 1990. – XVI, 255 p.

17. Reichmann, K. Abbruch beim Intervall-Gauß-Algorithmus / K. Reichmann // Computing. – 1979. – Vol. 22. – P. 355–361.

18. Центральный банк Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.cbr.ru>.

References

1. SHarij, S.P. Razreshimost intervalnykh lineynykh uravnenij i analiz dannykh s neopredelennostyami // Avtomatika i Telemekhanika / S.P. SHarij. – 2012. – № 2. – S. 111–125. – EDN: ORPFNP.

2. SHarij, S.P. Raspoznavanie razreshimosti intervalnykh uravnenij i ego prilozheniya k analizu dannykh / S.P. SHarij, I.A. SHaraya // Vychislitelnye tekhnologii. – 2013. – T. 18. – № 3. – S. 80–109. – EDN: QYPDSX.

3. SHarij, S.P. Silnaya soglasovannost v zadache vosstanovleniya zavisimostej pri intervalnoj neopredelennosti dannykh / S.P. SHarij // Vychislitelnye tekhnologii. – 2017. – T. 22. – № 2. – S. 150–172. – EDN: YPLUGX.

5. Stetsyuk, P.I. Subgradientnye metody ralgb5 i ralgb4 dlya minimizatsii ovrazhnykh vypuklykh funktsij / P.I. Stetsyuk // Vychislitelnye tekhnologii. – 2017. – T. 22. – № 2. – S. 127–149. – EDN: WDNFFW.

8. Nikolenko, S. Glubokoe obuchenie. Pogruzhenie v mir nejronnykh setej / S. Nikolenko, A. Kadurin, E. Arkhangelskaya. – SPb. : Piter, 2018. – 480 s.

10. SHarij, S.P. Konechnomernij intervalnij analiz / S.P. SHarij. – Novosibirsk : XYZ, 2026. – 677 s. [Electronic resource]. – Access mode : <http://www-sbras.nsc.ru/interval/Library/InteBooks/SharyBook.pdf>.

11. Bazhenov, A.N. Obrabotka i analiz intervalnykh dannykh / A.N. Bazhenov, S.I. ZHilin, S.I. Kumkov, S.P. SHarij. – M., Izhevsk : Institut kompyuternykh issledovanij, 2024. – 356 s. – EDN: FOKVPI.

13. Androsov, A.S. IntvalPy – biblioteka intervalnykh vychislenij na yazyke Python / A.S. Androsov, S.P. SHarij // Vestnik NGU. Seriya: Informatsionnye tekhnologii. – 2022. – T. 20. – № 4. – S. 5–23. – DOI: 10.25205/1818-7900-2022-20-4-5-23. – EDN: XLUGOI.

14. SHaraya, I.A. Metod granichnykh intervalov dlya vizualizatsii poliedralnykh mnozhestv reshenij / I.A. SHaraya // Vychislitelnye tekhnologii. – 2015. – T. 20. – № 1. – S. 75–103. – EDN: TPHVUR.

15. Bazara, M. Nelinejnoe programmirovaniye. Teoriya i algoritmy / M. Bazara, K. SHetti. – M. : Mir, 1982. – 583 s.

17. Reichmann, K. Abbruch beim Intervall-Gauß-Algorithmus / K. Reichmann // Computing. – 1979. – Vol. 22. – P. 355–361.

18. TSentralnij bank Rossijskoj Federatsii [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.cbr.ru>.

СПОСОБЫ ПОДБОРА МАРОК СТАЛЕЙ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СРЕД ЭКСПЛУАТАЦИИ

И.Г. ЧЕПОВСКИЙ

ООО «ВИНТЕХ»,
г. Коне́йск

Ключевые слова и фразы: марки стали; среда эксплуатации; металлические изделия; конструктивные элементы; техническое решение.

Аннотация: Различия городской, промышленной и наружной среды повышают значимость обоснованного подбора марок стали для металлических изделий и конструктивных элементов. Целью исследования является разработка обобщенной модели подбора марок сталей с учетом температуры, нагрузок, коррозионного воздействия и срока службы в различных условиях изготовления и эксплуатации металлических изделий инфраструктурного назначения. Научные задачи исследования: систематизация условий эксплуатации, сопоставление свойств сталей с параметрами среды, обоснование способов выбора технического решения. Гипотеза исследования: согласование характеристик среды, конструкции стали и нормативных условий повышает обоснованность выбора материала. Методы: общетеоретические методы анализа, синтеза, классификации; концептуальное моделирование. Достигнутые результаты: систематизированы релевантные марки стали; выделены основные способы их подбора; установлена связь среды эксплуатации с прочностью, пластичностью, ударной вязкостью, свариваемостью и коррозионной стойкостью; разработана модель выбора марки стали и защиты изделия.

Металлические изделия городской и промышленной инфраструктуры эксплуатируются под воздействием влаги, осадков, пыли, солей, промышленных выбросов, перепадов температуры и механических нагрузок. Сочетание этих и иных факторов влияет на скорость коррозии, прочность, пластичность и срок службы стали, поэтому выбор материала следует связывать с конкретной средой эксплуатации. В частности, загрязненный воздух, кислотные осадки и туманы ускоряют коррозию металла, что повышает значение предварительной оценки условий размещения изделия [1]. Температурное воздействие также меняет механические свойства стали. Например, испытания сталей 20, 09Г2С, 13ХФА и 17Г1С-У показывают различия прочности и ударной вязкости в диапазоне от отрицательных до повышенных температур [2]. Длительная эксплуатация также усиливает влияние коррозионных поражений. Так, исследование стальной конструкции со сроком службы 86 лет показало снижение предела прочности на 15 %, предела текучести на 10 % и относи-

тельного удлинения на 12 % на поврежденном участке [3]. Тем не менее «на современном этапе технического развития свойств стали становится недостаточно для работы в современных условиях, учитывающих суровость и жесткость эксплуатации машин, экологичность их работы в ходе всего жизненного цикла, экономическую эффективность и достаточную долговечность без изменения (ухудшения) качества выполнения их технологических функций» [4, с. 5]. Кроме того, требования могут быть связаны с коррозионной стойкостью и защитой поверхности от микроорганизмов, что, например, подтверждается исследованием стали 316L, легированной серебром и титаном [5]. В связи с этим цель исследования состоит в обосновании способов подбора марок сталей для металлических изделий городской, промышленной и наружной инфраструктуры с учетом состава среды, температуры, коррозионного воздействия, механической нагрузки и срока службы.

Подбор марок сталей основан на сопоставлении свойств материала с условиями экс-

Таблица 1. Наиболее релевантные марки стали для эксплуатации металлических изделий и конструктивных элементов

Марка стали	Среда эксплуатации	Металлические изделия и конструктивные элементы	Условие применения	ГОСТ
Ст3сп	Сухое отапливаемое помещение; открытый воздух с защитным покрытием	Каркасы, стойки, кронштейны, кожухи, внутренние шкафы	Антикоррозионное покрытие при наружном размещении	ГОСТ 380–2005
09Г2С	Холодный климат; переменные механические нагрузки	Опорные рамы, корпуса, площадки, несущие элементы	Категория проката по расчетной температуре	ГОСТ 19281–2014
10ХСНД	Городская и промышленная атмосфера; осадки	Наружные шкафы, ограждения, опоры, корпуса	Оценка длительности увлажнения и содержания солей	ГОСТ 19281–2014
08Х18Н10Т	Влажная городская и промышленная среда; моющие растворы	Шкафы связи, корпуса, двери, кабельные вводы, крепежные детали	Контроль содержания хлоридов и качества сварных соединений	ГОСТ 5632–2014
10Х17Н13М2Т	Кислотная и сернокислая среды; промышленный конденсат; солевые загрязнения	Наружные корпуса, технологические емкости, защитные панели, крепеж	Технико-экономическое обоснование применения	ГОСТ 5632–2014
20Х17Н2	Слабоагрессивная среда; трение; удар; абразивное воздействие	Замки, оси, валы, детали транспортеров, нагруженные узлы	Ограниченная свариваемость; термическая обработка	ГОСТ 5632–2014
06ХН28МДТ	Кислая и сернокислая среда высокой агрессивности	Корпуса технологического оборудования, емкости	Температура среды до 80 °С; высокая стоимость материала	ГОСТ 5632–2014
12Х1МФ	Высокая температура; длительная механическая нагрузка; паровая среда	Котлы, трубопроводы, коллекторы, теплообменные узлы	Рабочая температура до 600 °С; специальная технология сварки	ГОСТ 20072–74

плуатации металлического изделия. Основное значение имеют температура, влажность, химический состав воздуха, контакт с осадками, солями и промышленными загрязнениями, а также уровень механической нагрузки. Если выбрать не ту марку, то это повышает риск того, что сталь в ходе эксплуатации будет подвержена коррозии или деформации и, как следствие, срок службы изделия будет снижен [1]. Для того чтобы этого избежать, прежде всего целесообразно выяснить, в какой среде будет работать изделие и какую задачу выполняет деталь. Также следует соотнести свойства стали с будущими условиями ее эксплуатации, при этом важно понимать, что эти свойства различаются и зависят от типа стали.

Так, для углеродных сталей подходит умеренная влажность и типичные механические

нагрузки, для низколегированных сталей – переменные нагрузки, для коррозионностойких сталей – такие условия, в которых постоянным является воздействие влаги, химических веществ и загрязненного воздуха [2].

Иными словами, марка стали, как правило, выбирается с учетом условий эксплуатации и изготовления изделия [4].

К ключевым параметрам подбора стали относится температура. Так, при охлаждении часть сталей теряет ударную вязкость, что повышает вероятность хрупкого разрушения. При нагреве снижаются предел текучести и временное сопротивление, а длительное температурное воздействие может привести к ползучести металла [2]. Коррозию также ускоряет влажная и промышленная среда [3]. Поэтому для наружных изделий важны коррозионная стойкость,

Таблица 2. Основные способы подбора марок сталей для различных сред эксплуатации металлических изделий и конструктивных элементов

Способ подбора	Городская среда	Промышленная среда	Наружная среда
По степени агрессивного воздействия среды	Влажность, дорожные соли, загрязнение воздуха	Газы, аэрозоли, пыль, производственный конденсат	Осадки, влажность, обледенение
По категории коррозионной агрессивности атмосферы	Диоксид серы, хлориды, длительность увлажнения	Промышленные выбросы, хлориды, конденсат	Влажность, осадки, содержание хлоридов
По расчетной температуре	Минимальная зимняя температура	Рабочая температура, циклы нагрева и охлаждения	Минимальная температура, сезонные перепады
По расчетным нагрузкам	Ветер, снег, механическое воздействие	Статическая нагрузка, вибрация, удар	Ветер, снег, гололедная нагрузка
По технологическим свойствам	Свариваемость, резка, нанесение покрытия	Свариваемость, обработка, ремонтпригодность	Сварка, монтаж, нанесение защитного покрытия
По сроку службы и способу защиты	Срок покрытия, период обслуживания	Коррозионный запас, комбинированная защита	Система покрытия, период обновления
По результатам испытаний и эксплуатации	Осмотр изделий, данные аналогичных объектов	Коррозионные испытания, производственные наблюдения	Натурные образцы, скорость коррозии

качество сварных соединений и возможность нанесения защитного покрытия на материал. Выбор марки стали также зависит от срока службы изделия, наличия необходимого проката, стоимости материала, свариваемости и технологичности гибки, резки и окраски. Специальные марки применяются при наличии иных требований, включая антибактериальные свойства, жаропрочность или повышенную стойкость к агрессивным веществам [5].

Разделение условий эксплуатации по указанным признакам позволяет сопоставить среду, свойства материала и область применения конкретной марки стали (табл. 1).

Различия между марками стали связаны с прочностью, хладостойкостью, свариваемостью и коррозионной стойкостью. Поэтому выбор марки следует вести по параметрам среды и конструкции (табл. 2). Стоит отметить, что под наружной средой понимается открытое размещение вне выраженного влияния городской и промышленной атмосферы.

В целях обоснованного выбора марки стали предлагается авторская обобщенная модель подбора марок сталей для городской, промышленной и наружной инфраструктурной среды (рис. 1). Изначально данные разделены на две группы: к первой относятся влажность, осадки, загрязнения, соли, температурные колебания и химическое воздействие, ко второй – назначе-

ние конструктивного элемента, нагрузка, толщина, тип соединения и срок службы.

На следующем уровне параметры среды и конструкции соотносятся с требованиями к прочности, пластичности, ударной вязкости, коррозионной стойкости и свариваемости стали [2]. В рамках нормативных условий уточняются допустимая температура, степень агрессивности среды и способ защиты поверхности. В дальнейшем марки стали сравниваются по тому, как они проявляют себя в работе и насколько они удобны в изготовлении. По результатам сравнения выбирается сама сталь, вид проката, толщина детали, способ ее крепления и защита поверхности. Также для того, чтобы оценить состояние металла, сварных швов, форму конструкции и степень коррозии, во время эксплуатации изделие осматривается [3].

Авторский вклад в развитие металлургической отрасли состоит в разработке модели подбора марок сталей для изделий, которые используются в разных условиях – в ее основе лежит связь между работой конструкции и свойствами материала, в связи с чем выбор стали определяется реальной средой эксплуатации. Проведенное исследование показало, что срок службы изделия во многом зависит от правильности первоначального выбора материала. Установлено, что учет условий будущей работы конструкции снижает вероятность ран-

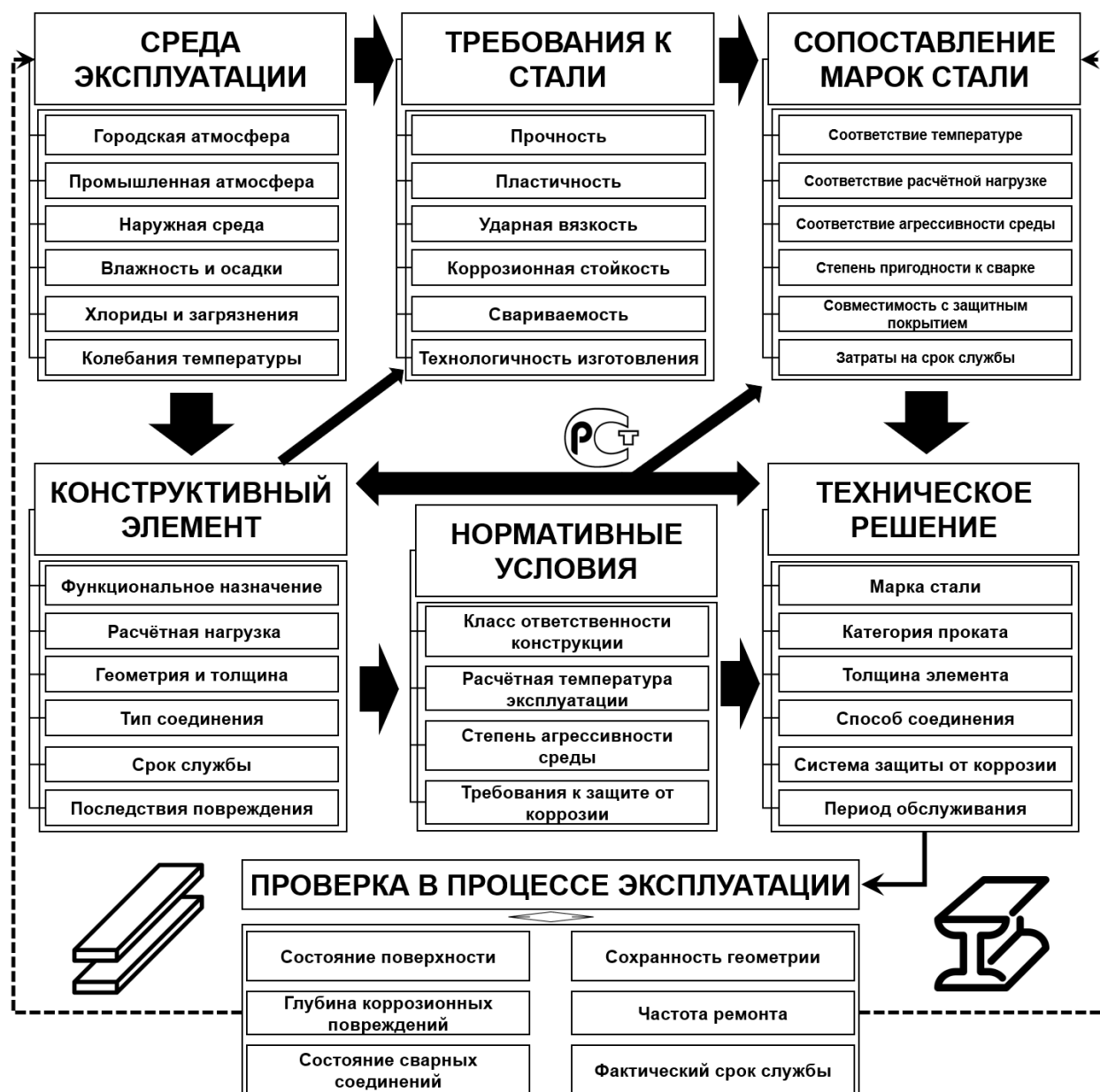


Рис. 1. Обобщенная модель подбора марок сталей для различных сред эксплуатации в городской, промышленной среде и условиях наружной эксплуатации

него разрушения и позволяет заранее оценить пригодность стали. Как следствие, подбор марки следует рассматривать как важную часть технического решения, от которой зависят надежность изделия и затраты на его дальнейшую

эксплуатацию.

Новизна исследования заключается в объединении оценки среды, свойств конструкции и проверки изделия в рамках единой концептуальной модели выбора марки стали.

Литература

1. Поздняков, А.Л. К оценке влияния промышленной инфраструктуры на экологическую безопасность городской среды / А.Л. Поздняков, А.М. Самохвалов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2013. – № 5. – С. 184–190. – EDN: RSYXHF.

2. Яковлев, Д.С. Особенности механических характеристик массово применяемых марок стали, используемых в технологических трубопроводах в интервале температур эксплуатации / Д.С. Яковлев, В.В. Микуров, М.С. Машенцева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Metallurgiya. – 2022. – Т. 22. – № 3. – С. 11–27. – DOI: 10.14529/met220302. – EDN: LTMPFN.

3. Шахабов, М.М. Эксплуатационные характеристики стальных конструкций длительного срока эксплуатации / М.М. Шахабов, А.Б. Сивенков, Д.А. Корольченко // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18. – № 6. – С. 864–879. – DOI: 10.22227/1997-0935.2023.6.864-879. – EDN: JLANPM.

4. Чуманов, И.В. Перспективные стали и сплавы : учеб. пособие / И.В. Чуманов, И.А. Алексеев. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 108 с.

5. Каплан, М.А. Исследование структуры, механических и антибактериальных свойств коррозионностойкой стали, легированной серебром и титаном / М.А. Каплан, А.Ю. Иванников, С.В. Конушкин, Е.О. Насакина, А.С. Баикин, Б.Б. Картабаева, А.Д. Горбенко, А.Г. Колмаков, М.А. Севостьянов // Доклады Российской академии наук. Химия, науки о материалах. – 2022. – Т. 502. – № 1. – С. 41–49. – DOI: 10.31857/S268695352201006X. – EDN: IMUMOJ.

References

1. Pozdnyakov, A.L. K otsenke vliyaniya promyshlennoj infrastruktury na ekologicheskuyu bezopasnost gorodskoj sredy / A.L. Pozdnyakov, A.M. Samokhvalov // Izvestiya YUgo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2013. – № 5. – S. 184–190. – EDN: RSYXHF.

2. YAkovlev, D.S. Osobennosti mekhanicheskikh kharakteristik massovo primenyaemykh marok stali, ispolzuemykh v tekhnologicheskikh truboprovodakh v intervale temperatur ekspluatatsii / D.S. YAkovlev, V.V. Mikurov, M.S. Mashentseva // Vestnik YUzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Metallurgiya. – 2022. – Т. 22. – № 3. – S. 11–27. – DOI: 10.14529/met220302. – EDN: LTMPFN.

3. SHakhabov, M.M. Ekspluatatsionnye kharakteristiki stalnykh konstruksij dlitel'nogo sroka ekspluatatsii / M.M. SHakhabov, A.B. Sivenkov, D.A. Korolchenko // Vestnik MGSU. – 2023. – Т. 18. – № 6. – S. 864–879. – DOI: 10.22227/1997-0935.2023.6.864-879. – EDN: JLANPM.

4. CHumanov, I.V. Perspektivnye stali i splavy : ucheb. posobie / I.V. CHumanov, I.A. Alekseev. – М. ; Vologda : Infra-Inzheneriya, 2024. – 108 s.

5. Kaplan, M.A. Issledovanie struktury, mekhanicheskikh i antibakterialnykh svoystv korrozionnostojkoj stali, legirovannoj serebrom i titanom / M.A. Kaplan, A.YU. Ivannikov, S.V. Konushkin, E.O. Nasakina, A.S. Baikin, B.B. Kartabaeva, A.D. Gorbenko, A.G. Kolmakov, M.A. Sevostyanov // Doklady Rossijskoj akademii nauk. KHimiya, nauki o materialakh. – 2022. – Т. 502. – № 1. – S. 41–49. – DOI: 10.31857/S268695352201006X. – EDN: IMUMOJ.

© И.Г. Чеповский, 2026

СПОРТИВНЫЙ ТУРИЗМ КАК СРЕДСТВО ПОДГОТОВКИ ОБУЧАЮЩИХСЯ К СЛУЖБЕ В АРМИИ

А.Н. АНОХИН

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный педагогический университет»,
г. Оренбург

Ключевые слова и фразы: спортивный туризм; подготовка к военной службе; обучающиеся; допризывная молодежь; военно-прикладная подготовка; физическое воспитание; патриотическое воспитание.

Аннотация: В статье рассматриваются возможности спортивного туризма как средства подготовки обучающихся старшего школьного и студенческого возраста к военной службе. Актуальность исследования связана с необходимостью формирования у молодежи не только физических качеств, но и прикладных умений, психологической устойчивости, дисциплинированности, ответственности и готовности к действиям в коллективе. Цель исследования состоит в теоретическом обосновании педагогического потенциала спортивного туризма как средства формирования физической, прикладной, психологической и командной готовности обучающихся к военной службе. В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи: проанализировать требования, предъявляемые к подготовке молодежи к службе в армии; выявить содержательное соответствие спортивного туризма задачам военно-прикладной подготовки; охарактеризовать основные компоненты подготовки обучающихся средствами спортивного туризма; определить педагогические условия его эффективного применения в образовательной и внеурочной деятельности. Гипотеза исследования заключается в предположении о том, что спортивный туризм может выступать эффективным средством подготовки обучающихся к военной службе при условии его целенаправленного использования для развития физических качеств, прикладных навыков, ориентирования на местности, преодоления препятствий, оказания первой помощи, психологической устойчивости и командного взаимодействия. Методологическую основу исследования составили анализ научной литературы, педагогическое моделирование, а также обобщение собственного практического опыта организации и проведения занятий, учебно-тренировочных мероприятий и соревнований по спортивному туризму с обучающимися. В результате исследования установлено, что спортивный туризм обладает выраженным военно-прикладным и воспитательным потенциалом, поскольку объединяет двигательную, техническую, тактическую, коммуникативную и гражданско-патриотическую составляющие. Занятия спортивным туризмом способствуют развитию выносливости, силовой и статико-динамической устойчивости, координации, навыков ориентирования, преодоления естественных и искусственных препятствий, организации жизнедеятельности в полевых условиях, управления рисками, взаимопомощи и коллективной ответственности. Сделан вывод о целесообразности включения средств спортивного туризма в систему подготовки обучающихся к службе в армии при соблюдении принципов постепенности, безопасности, возрастной адекватности, медицинского контроля и педагогической рефлексии.

Подготовка обучающихся к службе в армии является значимым направлением образовательной, воспитательной и физкультурно-спортивной работы. Современная военная служба предъявляет к молодому человеку комплекс

требований: физическую выносливость, устойчивость к утомлению, способность действовать в непривычной среде, дисциплинированность, ответственность, готовность работать в составе группы и умение принимать решения при

ограниченности времени. Поэтому педагогические средства допризывной подготовки должны иметь не только двигательную, но и прикладную, ситуационную, коллективную и воспитательную направленность.

Традиционные формы физического воспитания, основанные преимущественно на развитии отдельных физических качеств, имеют несомненную ценность, однако они не всегда обеспечивают готовность к продолжительной работе на местности, преодолению природных препятствий, передвижению с грузом, самостоятельной организации быта, ориентированию и взаимодействию в малой группе. Эти умения находятся на стыке физической культуры, безопасности жизнедеятельности, туризма, краеведения и военно-прикладной подготовки [1; 3].

В занятия спортивным туризмом входит прохождение маршрутов и дистанций, преодоление естественных и искусственных препятствий, ориентирование, работа с картой и компасом, применение специального снаряжения, организация движения группы, страховка, оказание помощи участникам, планирование маршрута и оценка рисков. В отличие от многих видов спорта, он формирует целостный опыт действия в природной среде, где результат зависит от подготовленности каждого участника, согласованности группы и правильности тактических решений.

Подготовку обучающихся к военной службе следует рассматривать как целостный педагогический процесс, в котором физическое развитие соединяется с воспитанием волевых качеств, формированием прикладных умений, самостоятельности, организованности и готовности действовать в изменяющихся условиях. В этом процессе физическая культура и спорт выполняют не только оздоровительную функцию, но и служат средством развития устойчивости к нагрузкам, способности преодолевать трудности, соблюдать дисциплину и взаимодействовать с другими участниками деятельности. Для достижения военно-прикладного эффекта двигательная активность должна выходить за рамки стандартного упражнения и включать практические ситуации, требующие ориентирования, распределения усилий, соблюдения правил безопасности и коллективного решения задачи [3; 4].

Спортивный туризм отвечает указанным требованиям благодаря своей многоуровневой структуре. Его содержание соотносится

с задачами военно-прикладной подготовки: длительное движение по маршруту, преодоление препятствий, работа со снаряжением, ориентирование, организация движения группы, страховочные действия, первая помощь, анализ метеоусловий и управление рисками. В туристской деятельности физическая подготовленность не существует изолированно, а проявляется в конкретной ситуации, где необходимо учитывать рельеф, погодные условия, состояние участников, темп движения, сложность препятствий и общий план маршрута.

Важнейшим результатом занятий является развитие общей и специальной выносливости. Пешие, лыжные, велосипедные и комбинированные маршруты, передвижение по лесной, степной, снежной или горной местности создают вариативную нагрузку, близкую к военно-прикладной по своей функциональной структуре. В отличие от монотонного бега или работы на тренажерах, туристская нагрузка требует постоянной регуляции усилий, выбора рационального темпа, сохранения работоспособности при утомлении и готовности продолжать движение в составе группы [2].

Для подготовки важна силовая, статико-динамическая и координационная нагрузки. Переноска рюкзака, движение по пересеченной местности, преодоление подъемов, спусков, оврагов, бревна, навесных и иных переправ требуют согласованной работы мышц ног, корпуса, плечевого пояса и кистей. Одновременно формируются равновесие, точность движений, пространственная ориентировка, способность быстро реагировать на особенности рельефа и выбирать безопасную траекторию. Эти качества важны для полевых условий, где стандартные двигательные решения часто оказываются недостаточными.

Особое место занимает ориентирование на местности. Работа с картой, компасом, GPS-устройствами, определение сторон горизонта, оценка расстояния, выбор пути, расчет времени движения и анализ рельефа формируют у обучающихся элементы тактического мышления. Участник учится воспринимать пространство как систему ориентиров, препятствий, возможностей и рисков; соотносить выбранный маршрут с физическими возможностями группы; прогнозировать последствия решений; учитывать погодные, временные и организационные факторы. В результате развиваются не только двигательные, но и когнитивные основания го-

товности к действиям в сложной обстановке.

Психолого-педагогический потенциал спортивного туризма связан с созданием управляемых ситуаций преодоления трудностей. Обучающийся сталкивается с утомлением, изменением погоды, необходимостью продолжать движение, помогать товарищам, выполнять порученную роль, сохранять самообладание и принимать решения. При этом педагогическая ценность туристской деятельности заключается не в создании опасности, а в контролируемом преодолении объективных препятствий. Командная направленность спортивного туризма усиливает его воспитательный эффект. Участники осваивают роли руководителя, штурмана, замыкающего, ответственного за снаряжение, медика, связного, участника страховки или сопровождения. Такое распределение обязанностей способствует развитию лидерства, исполнительской дисциплины, уважения к товарищам и понимания личной ответственности за общий результат, что соотносится с требованиями организованного воинского коллектива.

Содержание подготовки средствами спортивного туризма может быть представлено через несколько взаимосвязанных компонентов. Физический компонент направлен на развитие выносливости, силы, координации, гибкости и способности к восстановлению; технический – на освоение узлов, страховочных действий, преодоления препятствий, организации бивака, подбора и укладки снаряжения; тактико-когнитивный – на ориентирование, выбор маршрута, расчет времени движения, анализ рельефа и принятие решений при изменении обстановки. Психологический компонент связан с самообладанием, стрессоустойчивостью, волевой регуляцией и готовностью доводить задачу до завершения; коммуникативно-командный – с взаимодействием, взаимопомощью, лидерством, подчинением и поддержкой слабого участника; гражданско-патриотический – с краеведческим содержанием маршрутов, посещением памятных мест, участием в походах, посвященных историческим датам, встречами с ветеранами и проектной работой.

Для эффективной подготовки важно учитывать, что сложность занятий должна возрастать от учебных упражнений на территории образовательной организации к однодневным выходам, затем к учебно-тренировочным маршрутам, соревнованиям и многодневным походам. Особого внимания требуют тренировки

с переноской груза: масса рюкзака, протяженность маршрута, темп движения, рельеф и продолжительность нагрузки должны соответствовать возрасту, состоянию здоровья, уровню физической подготовленности и туристскому опыту обучающихся. Нарушение этого принципа повышает риск переутомления, травм и снижения мотивации. Также занятия спортивным туризмом могут использоваться в системе подготовки к службе только при проведении инструктажей, проверке снаряжения, наличии медицинского допуска, подготовленных руководителей, аптечки, средств связи, продуманного маршрута, запасных вариантов движения и предварительной оценки погодных условий.

Целесообразно рассмотреть интеграцию туристской деятельности с учебными предметами и воспитательной работой. Маршрут может связывать физическую культуру, основы безопасности и защиты Родины, географию, биологию, историю, краеведение и проектную деятельность. В этом случае обучающиеся не только выполняют физическую нагрузку, но и изучают природные объекты, историко-культурные памятники, особенности родного края, экологическое состояние территории и способы безопасного поведения в природной среде. Межпредметный характер занятий повышает их образовательную ценность и способствует устойчивой мотивации.

Обязательным условием является рефлексия полученного опыта. После тренировок, соревнований и походов необходимо проводить анализ действий группы: насколько рационально были распределены силы, какие решения оказались успешными, какие ошибки были допущены, как участники выполняли роли, как проявлялись взаимопомощь, дисциплина и ответственность. Такая работа переводит физическую активность в осмысленный педагогический результат и позволяет обучающимся осознать, что готовность к службе определяется не только силой и выносливостью, но и умением анализировать ситуацию, соблюдать правила, отвечать за товарищей и действовать в интересах группы.

Оценка результатов подготовки должна быть комплексной. Наряду со спортивными разрядами, местом на соревнованиях или скоростью прохождения дистанции необходимо учитывать уровень физической подготовленности, степень освоения технических действий, сформированность навыков ориентирования и

анализа маршрута, способность принимать решения, а также уровень проявления психологической устойчивости, дисциплинированности, ответственности и командного взаимодействия.

Только совокупность этих показателей позволяет объективно судить о влиянии спортивного туризма на готовность обучающихся к военной службе.

Литература

1. Анохин, А.Н. Ценностный потенциал спортивно-оздоровительного туризма в процессе формирования потребности в здоровьесбережении / А.Н. Анохин // Территория спорта, здоровья и безопасности жизнедеятельности : сборник статей к IV международному научно-практическому форуму, Оренбург, 24–28 апреля 2022 года / Министерство просвещения Российской Федерации; Министерство физической культуры и спорта Оренбургской области; ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный педагогический университет» (Институт физической культуры и спорта); Актюбинский региональный государственный университет имени К. Жубанова. – Оренбург : Экспресс-печать, 2022. – С. 11–14.
2. Анохин, А.Н. Роль спортивного туризма в подготовке к военной службе / А.Н. Анохин, С.Н. Талызов // Физическая культура. Спорт. Туризм. Двигательная рекреация. – 2025. – Т. 10. – № 3. – С. 145–152. – DOI: 10.47475/2500-0365-2025-10-3-145-152. – EDN: ENRWAE.
3. Правдов, М.А. Спортивный туризм в системе подготовки юношей 16–17 лет к службе в армии / М.А. Правдов, Д.В. Глазунов, Д.М. Правдов // Школа будущего. – 2021. – № 4. – С. 256–267. – EDN: XHSTWK.
4. Вебер, Э.П. Программно-методическое обеспечение групп начальной подготовки спортсменов в дисциплине спортивного туризма «дистанция – пешеходная» / Э.П. Вебер // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Гуманитарные науки. – 2020. – № 4-2. – С. 70–75. – DOI: 10.37882/2223-2982.2020.04-2.09. – EDN: WVRIPG.

References

1. Anokhin, A.N. TSennostnij potentsial sportivno-ozdorovitel'nogo turizma v protsesse formirovaniya potrebnosti v zdorovesberezenii / A.N. Anokhin // Territoriya sporta, zdorovya i bezopasnosti zhiznedejatel'nosti : sbornik statej k IV mezhdunarodnomu nauchno-prakticheskomu forumu, Orenburg, 24–28 aprelya 2022 goda / Ministerstvo prosveshcheniya Rossijskoj Federatsii; Ministerstvo fizicheskoy kultury i sporta Orenburgskoj oblasti; FGBOU VO «Orenburgskij gosudarstvennij pedagogicheskij universitet» (Institut fizicheskoy kultury i sporta); Aktyubinskij regionalnij gosudarstvennij universitet imeni K. ZHubanova. – Orenburg : Ekspress-pechat, 2022. – S. 11–14.
2. Anokhin, A.N. Rol sportivnogo turizma v podgotovke k voennoj sluzhbe / A.N. Anokhin, S.N.Talyzov // Fizicheskaya kultura. Sport. Turizm. Dvigatel'naya rekreatsiya. – 2025. – T. 10. – № 3. – S. 145–152. – DOI: 10.47475/2500-0365-2025-10-3-145-152. – EDN: ENRWAE.
3. Pravdov, M.A. Sportivnij turizm v sisteme podgotovki yunoshej 16–17 let k sluzhbe v armii / M.A. Pravdov, D.V. Glazunov, D.M. Pravdov // SHkola budushchego. – 2021. – № 4. – S. 256–267. – EDN: XHSTWK.
4. Veber, E.P. Programmno-metodicheskoe obespechenie grupp nachalnoj podgotovki sportsmenov v distsipline sportivnogo turizma «distantiya – peshekhodnaya» / E.P. Veber // Sovremennaya nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Seriya: Gumanitarnye nauki. – 2020. – № 4-2. – S. 70–75. – DOI: 10.37882/2223-2982.2020.04-2.09. – EDN: WVRIPG.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ПУТЕЙ И ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ БРЕНДОВЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ ПО МУЗЫКАЛЬНОМУ НЕМАТЕРИАЛЬНОМУ КУЛЬТУРНОМУ НАСЛЕДИЮ ДЛЯ ВУЗОВ ПРОВИНЦИИ ХЭЙЛУНЦЗЯН

ВАН ФЭЙ, ЧЖАНЬ ШУБО

*Хэйхэский университет,
г. Хэйхэ (Китай)*

Ключевые слова и фразы: высшие учебные заведения; нематериальное культурное наследие; брендовые музыкальные курсы.

Аннотация: Провинция Хэйлунцзян (Китай) обладает богатыми ресурсами музыкального нематериального культурного наследия (НКН) многих народов. Создание брендовых учебных курсов по музыкальному НКН в университетах – важный способ сохранения и передачи региональной культуры провинции Хэйлунцзян. В данной статье анализируются реальные проблемы, существующие в курсах по музыкальному НКН в университетах Хэйлунцзяна, с целью предоставить теоретические и практические ориентиры для построения таких курсов в высших учебных заведениях Северо-Восточного Китая.

Введение

Нематериальное культурное наследие хранит коллективную память региональных этнических групп. Музыкальное НКН, воплощенное в устных песнопениях, инструментальном музицировании и сказовых представлениях, является живой и неотъемлемой частью выдающейся традиционной китайской культуры. Хэйлунцзян, расположенный на северо-восточной окраине страны, исторически является местом длительного сосуществования и взаимовлияния многих народов, что породило уникальную музыкально-культурную палитру, переплетающую в себе черты рыболовно-охотничьей, лесной и земледельческой цивилизаций. Традиционная музыка малочисленных народов – нанайцев, дауров, орохонов, маньчжуров, корейцев Китая, а также местная духовная музыка, лесные трудовые песни и другие фольклорные ресурсы – это богатейшая сокровищница музыкального НКН провинции Хэйлунцзян.

Под брендовыми учебными курсами по музыкальному НКН понимается не просто ряд

факультативных дисциплин, а особая система курсов, ядром которой являются конкретные ресурсы музыкального наследия Хэйлунцзяна. Такая система отличается стабильным учебным планом, командой преподавателей «двойной квалификации», регулярно действующими практическими платформами, наличием знаковых результатов и устойчивым социальным влиянием. В связи с этим, опираясь на текущее состояние преподавания в университетах провинции, данная статья анализирует существующие проблемы, исследует возможные практические пути и предлагает модель функционирования брендовых курсов, адаптированную к условиям вузов Хэйлунцзяна.

1. Современное состояние и реальные проблемы построения курсов по музыкальному НКН в университетах провинции Хэйлунцзян

Имеющаяся база для развития

В последние годы в провинции Хэйлунцзян последовательно углубляется интеграция НКН

в высшее эстетическое образование. Цицикарский университет систематически развивает преподавание музыки дауров, проводя постоянные полевые исследования и сценическую обработку народных песен. Цзямусский университет длительное время изучает нанайский эпос «Имакан» и песенный жанр «Цзялинкуо», издает сборники народных песен и создает оригинальные музыкальные спектакли (в том числе мюзикл «Шэн Цилэ»). Харбинский университет и Хэйхэский университет сосредоточены на изучении ороchonского жанра «Цзаньдарэнь», варганной музыки и традиционных маньчжурских народных песен. Ряд вузов опираются на провинциальные базы охраны НКН, приглашают народных хранителей для проведения лекций, организуют для студентов этнографические выезды в районы компактного проживания национальностей, постепенно накапливая местный учебный материал. Часть университетов включает содержание музыки национальных меньшинств в основные курсы, такие как «Китайская народная и национальная музыка», формируя собственные учебные ресурсы, что создает основу для формирования брендовых курсов [1].

Основные трудности

В университетах повсеместно слабо выражено брендовое сознание: цели курсов размыты, отсутствует системное планирование и долгосрочные ориентиры, преподавание часто носит случайный характер, что не позволяет сформировать узнаваемый бренд. В то же время местные материалы по музыкальному НКН разрознены, отсутствуют специальные учебники для конкретного вуза; в преподавании по-прежнему используются универсальные пособия, что отрывает обучение от фольклорно-охотничьего культурного контекста. Сохраняется перекося в сторону технического мастерства в ущерб культурному содержанию. Структура преподавательского состава однообразна: у университетских педагогов недостаточно полевого опыта, а хранители наследия не могут глубоко включиться в учебный процесс; механизм совместной работы «двойной квалификации» не отлажен. Кроме того, в курсах преобладает аудиторная теория, живая практика сводится к минимуму, не хватает внешних практических площадок, каналы распространения и трансформации достижений ограничены. Механизмы взаимодействия между университетами и местными властями остаются рыхлыми,

долгосрочное сотрудничество между разными субъектами отсутствует, что затрудняет формирование устойчивого сообщества, ответственного за передачу наследия.

II. Практические пути построения брендовых учебных курсов по музыкальному НКН в университетах провинции Хэйлунцзян

1. Первоочередная задача – четкое позиционирование на основе дифференцированного размещения с учетом географических и региональных особенностей каждого вуза: университеты в районе Цицикара и Мэйлисы должны делать акцент на создании курсов по музыке дауров; университеты в Цзямусы и Тунцзяне – углублять работу по нанайскому эпосу «Имакан» и песням «Цзялинкуо»; вузы в Хэйхэ и Большом Хингане – сосредоточиться на ороchonской традиционной музыке; университеты в Харбине и Муданьцзяне – интегрировать ресурсы маньчжурской, корейской музыки и северо-восточной духовой музыки, избегая однотипной конкуренции.

2. Необходимо последовательно проводить полевые исследования, организуя регулярные выезды студентов и преподавателей в нанайские рыбацкие поселки, даурские села, ороchonские охотничьи стойбища для систематического сбора материалов. Следует собирать аутентичные аудио- и видеозаписи, а также устные исторические свидетельства, создать цифровую базу данных по музыкальному НКН провинции Хэйлунцзян для университетов. Совместно с хранителями наследия нужно систематизировать нотные записи, переводить тексты на языках национальных меньшинств, выявлять фольклорно-обрядовый и мировоззренческий смысл, стоящий за музыкой, разрабатывать учебные пособия для конкретного вуза и сборники примеров [2].

3. Необходимо преодолеть замкнутость аудиторного обучения: внутри вуза на базе мастерских по музыкальному НКН организовать регулярную практическую отработку навыков, используя цифровые технологии (аудиореставрацию, VR-воссоздание обстановки) для оживления традиционной музыкальной среды. Вне вуза следует создать стационарные полевые базы на национальных территориях и при центрах сохранения наследия, организуя для студентов выездные практики в каникулярное

время для глубокого погружения в аутентичную культурную среду наследия. Одновременно нужно проводить брендовые концерты и другие показательные мероприятия («Музыкальное наследие Хэйлунцзяна»), поддерживать творческие работы преподавателей и студентов – вокальные и музыкально-театральные постановки на основе наследия, – расширяя охват и влияние курсов.

4. Следует развивать стратегическое сотрудничество между университетами и Департаментом культуры и туризма провинции Хэйлунцзян, центрами охраны НКН, местными домами культуры, национальными районами и школами. Необходимо совместно создавать базы передачи наследия, делиться ресурсами хранителей и полевыми площадками.

III. Построение модели функционирования брендовых музыкальных курсов по НКН в вузах Хэйлунцзяна

1. Базовое аудиторное обучение: многоуровневый кластер курсов как основная форма.

В качестве ядра выступает трехуровневый кластер курсов (общеуниверситетский – профильный – расширенный); обучение ведется по смешанной очно-заочной модели. На этом этапе передаются базовые знания о музыке НКН, вокальные техники и теоретические сведения о фольклоре. Мастерские служат площадкой для углубленных практических занятий в малых группах, что позволяет сочетать массовое просвещение с профессиональной подготовкой и укрепляет образовательное ядро брендовых курсов [3].

2. Полевые исследования как обучающий ресурс: практическое занятие для живого наследования.

Полевая работа включается в обязательные практические кредиты. С опорой на совместные базы вузов и местных властей проводятся систематические выезды и сбор материалов. Студенты участвуют в документировании устной истории и обработке аудиовизуальных материалов – это не только учебный процесс, но и пополнение ресурсной базы курса. Таким образом, студенты превращаются из пассивных слушателей в активных сборщиков и исследователей наследия, постигая суть живого наследования.

3. Выступления и медиараспространение для формирования бренда: создание знаковых результатов курса.

В качестве каналов продвижения бренда используются регулярные концерты НКН, оригинальные сценические постановки и цифровой контент в новых медиа. Создаются визуализированные результаты – концертные программы, оригинальные спектакли, короткие видео, онлайн-выставки, – что способствует росту узнаваемости курса. Одновременно проводятся благотворительные выступления для жителей городов и сельских районов, реализуя социально-просветительскую функцию эстетического воспитания и формируя имидж курса как общедоступного культурного бренда.

4. Научно-исследовательская поддержка: обновление курсов через академическую работу.

На базе курсов создаются исследовательские группы по музыке национальных меньшинств, ведущие научную работу по музыкальному НКН Хэйлунцзяна. Результаты полевых исследований и проектов трансформируются в учебные пособия и примеры для занятий. Студентам бакалавриата и магистратуры предлагается выбирать местную музыку в качестве тем дипломных работ и инновационных предпринимательских проектов, что обеспечивает взаимное обогащение преподавания и науки и постоянное обновление содержания курсов.

Заключение

Музыкальное нематериальное культурное наследие провинции Хэйлунцзян несет в себе многонациональную культурную память северных рубежей и является редким, неповторимым культурным ресурсом. Курсы по музыкальному НКН в университетах провинции постепенно переходят от разрозненных опытов к системному и брендовому строительству, однако по-прежнему сталкиваются с такими проблемами, как недостаточное использование ресурсов, разрыв практической цепи и слабость механизмов координации. Университеты должны активно брать на себя ответственность за культурную преемственность и обеспечивать устойчивое развитие традиционной музыки северных этнических меньшинств в системе высшего эстетического образования.

Данная статья подготовлена при финансовой поддержке Научно-исследовательского про-

екта по базовым средствам на проведение научно-исследовательской работы в высших учебных заведениях провинциального подчинения провинции Хэйлуңцзян в 2020 году. Номер проекта: 2020 KYYWF 0892.

Литература

1. Ван Вэньчжан. Введение в нематериальное культурное наследие / Ван Вэньчжан. – Пекин : Издательство педагогических наук, 2013.
2. Ли Шаньшань. Пути живого сохранения нематериального культурного наследия в музыкальном образовании вузов / Ли Шаньшань // Китайское музыкальное образование. – 2023. – № 5.
3. Чжу Яньбин. Практика преподавания музыки даур в местных вузах / Чжу Яньбин // Вестник Цицикарского университета. – 2021. – № 8.

References

1. Van Venchzhan. Vvedenie v nematerialnoe kulturnoe nasledie / Van Venchzhan. – Pekin : Izdatelstvo pedagogicheskikh nauk, 2013.
2. Li SHanshan. Puti zhivogo sokhraneniya nematerialnogo kulturnogo naslediya v muzykalnom obrazovanii vuzov / Li SHanshan // Kitajskoe muzykalnoe obrazovanie. – 2023. – № 5.
3. CHzhu YAnbin. Praktika prepodavaniya muzyki daur v mestnykh vuzakh / CHzhu YAnbin // Vestnik TSitsikarskogo universiteta. – 2021. – № 8.

© Ван Фэй, Чжань Шубо, 2026

РОЛЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТОВ В ФОРМИРОВАНИИ У ОБУЧАЮЩИХСЯ ЛИНГВОКРАЕВЕДЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНЦИИ НА УРОКАХ РУССКОГО ЯЗЫКА

Е.А. ВАСИЛЬЕВ, А.П. ОЛЕСОВА

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»,
г. Якутск

Ключевые слова и фразы: региональный текст; лингвокраеведческая компетенция; национально-региональный компонент; русский язык; методика преподавания; краеведение; культуроведческий подход; ФГОС; урок русского языка.

Аннотация: В статье рассматривается методический потенциал региональных текстов как средства формирования лингвокраеведческой компетенции на уроках русского языка. Цель – теоретически обосновать и показать на примере методические возможности региональных текстов для формирования лингвокраеведческой компетенции обучающихся. Гипотеза: системное включение таких текстов в образовательный процесс повышает мотивацию и способствует развитию лингвокраеведческой, коммуникативной и социокультурной компетенций. Методы исследования: анализ научной литературы, сравнительный анализ, обобщение педагогического опыта. На основе анализа теоретических подходов раскрыто содержание понятия «лингвокраеведческая компетенция», определены критерии отбора текстов и этапы работы с ними, представлен пример реализации в 5 классе. Результаты подтверждают, что системное использование региональных текстов обеспечивает достижение предметных, метапредметных и личностных результатов по ФГОС.

В современных условиях реализации ФГОС основного общего образования особое значение приобретает национально-региональный компонент содержания образования. В обучении русскому языку он предполагает привлечение региональных текстов, культурно маркированных слов, отражающих особенности края, пословиц и поговорок народов, населяющих его, и др. [7]. Национально-региональный компонент способствует формированию у обучающихся чувства принадлежности к малой родине, пониманию взаимосвязи языка и культуры, что является неотъемлемой частью содержания образования по государственным стандартам [9].

Данные личностные результаты обучения достигаются через формирование лингвокраеведческой компетенции. Лингвокраеведение служит тем связующим звеном, которое помогает школьнику почувствовать себя частью национальной культуры и традиций, осознать

ценность изучения и сохранения родной культуры, важнейшей основой которой выступает язык.

Развить лингвокраеведческую компетенцию на уроках русского языка можно благодаря работе с региональным текстом.

Однако анализ практики преподавания показывает, что региональные тексты используются эпизодически, а работа с формированием лингвокраеведческой компетенции не носит системного характера. Это создает противоречие между требованием ФГОС к учету национально-регионального компонента и недостаточной разработанностью методически обоснованных подходов к включению региональных текстов в уроки русского языка.

Цель исследования – теоретически обосновать и показать на примере методические возможности региональных текстов для формирования лингвокраеведческой компетенции обучающихся.

Методологическая основа работы включает анализ научной литературы, направленный на систематизацию теоретических и эмпирических данных по теме исследования, а также методы сравнительного анализа и обобщения, посредством которых определяются оптимальные условия включения регионального текста в процесс обучения русскому языку для формирования лингвокраеведческой компетенции обучающихся.

Региональный текст в методике преподавания русского языка понимается как учебный текст, отражающий лингвистические, исторические, культурные, социально-экономические и географические особенности конкретного региона. К региональным текстам относят краеведческие, культуроведческие, этнокультурные и собственно лингвокраеведческие материалы [8].

Понятие активно развивалось с середины 1990-х гг. в рамках становления культуроведческого подхода. В начале 2000-х гг. были сформулированы критерии отбора таких текстов [8]:

- познавательная ценность (отражение лингвистических, исторических, культурных, социально-экономических, географических особенностей региона);
- соответствие нормам русского литературного языка;
- соответствие нормам текстообразования;
- художественная, эстетическая ценность (для художественных текстов).

Исследователи подчеркивают особую роль региональных художественных текстов в учебно-воспитательном процессе. Обращение к произведениям местных авторов на уроках русского языка позволяет актуализировать личностно значимый для обучающихся материал, усилить эмоциональное восприятие языка и культуры родного края [1].

Работа с региональным текстом на уроках русского языка формирует лингвокраеведческую компетенцию у обучающихся. Под лингвокраеведческой компетенцией понимается система знаний о локальной культуре, извлеченных из языковых единиц, обладающих регионально-культурной коннотацией. Данная компетенция развивается в процессе изучения русского языка и включает совокупность речевых умений, позволяющих понимать и интерпретировать языковые единицы, отражающие культурные особенности региона, использовать

региональную лексику и фразеологию в устной и письменной речи, строить высказывания, учитывающие культурно-языковую специфику края, города или региона [4].

Основу лингвокраеведческой компетенции составляют региональные фоновые знания, то есть совокупность сведений о регионе, которые вызывают смысловые ассоциации и коннотации, содержащие мотивы отношения носителей языка к тем или иным региональным реалиям [3].

Использование регионального текста на уроках русского языка способствует решению следующих задач формирования лингвокраеведческой компетенции.

1. Формирование языковых и речевых навыков. Работа с текстом развивает навыки чтения, анализа, пересказа, создания собственных высказываний на региональную тематику, учит правильно интерпретировать регионально-культурные лексические единицы.

2. Развитие мотивации. Близость материала к жизненному опыту обучающихся повышает интерес к изучению русского языка и развивает познавательную активность.

3. Воспитание патриотизма и толерантности. Через знакомство с историей и культурой родного края формируется ценностное отношение к малой родине и России, что также способствует успешной адаптации в регионе и многонациональной стране в целом.

4. Реализация межпредметных связей. Работа с региональными текстами позволяет интегрировать урок русского языка с такими предметами, как история, география, литература, краеведение [3].

Решение этих задач достигается через систему методов работы с региональным текстом. К ним относятся: лингвистический анализ безэквивалентной лексики, топонимов, антропонимов и общеупотребительных слов, приобретающих в региональном контексте особую смысловую глубину; сравнительный анализ литературных и диалектных единиц; проектная деятельность (например, создание лингвокраеведческого словаря), которая одновременно реализует межпредметные связи; а также написание сочинений на основе регионального материала.

Работа с региональными текстами на уроках русского языка может быть проведена при изучении различных разделов: лексики, морфемики, морфологии, развития речи и других.

Основные приемы, используемые на каждом этапе работы с текстом, включают:

- предтекстовый этап: актуализация фоновых знаний, введение региональной лексики;
- текстовый этап: чтение, анализ языковых средств, выявление культурного компонента;
- послетекстовый этап: творческие задания (сочинения, проекты, экскурсии, презентации), сравнительный анализ с общероссийским или инорегиональным материалом.

Для работы с обучающимися можно выбрать отрывки из произведений местных авторов, легенды и предания, энциклопедические материалы, статьи из средств массовой информации. При отборе региональных текстов рекомендуется ориентироваться на доступность, соответствие возрастным особенностям и образовательным целям урока. Необходима методическая обработка текстов:

- исправление опечаток, орфографических и пунктуационных ошибок;
- изменение структуры и содержания текста, если он не соответствует задаче;
- замена сложных для восприятия слов и выражений для определенных возрастных групп;
- улучшение стиля, устранение речевых неточностей, повышение выразительности;
- при необходимости сжатие текста без потери смысла.

Анализ педагогической практики и научных публикаций подтверждает, что систематическое использование региональных текстов приводит к повышению интереса к урокам русского языка, углублению понимания взаимосвязи языка и культуры, развитию навыков речевой деятельности на основе лично значимого материала, формированию патриотических чувств и региональной идентичности.

Использование региональных текстов не ограничивается задачами лингвокраеведения. Региональные материалы могут эффективно применяться и для формирования читательской грамотности обучающихся, что подтверждает их высокий методический потенциал в достижении метапредметных результатов [6].

Приведем пример использования регионального текста в педагогической практике на уроке русского языка в 5 классе при изучении темы «Имена существительные собственные и нарицательные». В учебнике Т.А. Ладыженской по данной теме предлагается упражнение, в ко-

тором пятиклассникам нужно написать о событиях истории нашей Родины [5]. На уроках русского языка в якутской школе при выполнении этого задания можно изучить региональный текст о вхождении Якутии в состав Российского государства.

Данную деятельность следует сопровождать словарно-фразеологической работой (с учетом наличия историзмов (сотник, острог, верста, струг) и устаревшего топонима Якольская земля, иллюстративным материалом (портреты землепроходцев Пантелея Пянды, Петра Бекетова, изображения острога, карта Якутии)) и беседой с обучающимися.

После прочтения текста обучающимся задаются вопросы по содержанию: «По какой причине изначально русские добирались в Якутию?», «Какое событие считается началом вхождения Якутии в состав Российского государства?»; на установление связи с современностью: «Каково значение вхождения Якутии в состав Российского государства (что начало развиваться, какое влияние оказало)?»; на актуализацию ранее пройденных тем: «К какой функциональной разновидности языка относится данный текст? Докажите».

Письменную работу можно связать с темой урока (выпишите из текста имена собственные и нарицательные), с закреплением пройденных тем (выполните фонетический анализ слов: Якутск, русского), с творческой работой (представьте, что вы казак из отряда Петра Бекетова: напишите 2–3 предложения от первого лица о том, зачем вы пришли в Якольскую землю и что там увидели).

При работе с данным региональным текстом у обучающихся формируются: предметные результаты – умение распознавать имена собственные и нарицательные, стили текста, выполнять фонетический анализ слов; личностные результаты – знание истории родного края, умение анализировать исторические события в контексте современности; метапредметные результаты – умение находить нужную информацию в тексте, работать с понятиями, выстраивать причинно-следственные связи, строить логические рассуждения и умозаключения, формулировать выводы.

Таким образом, предложенная методика работы с региональными текстами направлена на разрешение выявленного противоречия между декларируемой в ФГОС необходимостью учета национально-регионального компонента и

фрагментарным характером соответствующей работы в школьной практике, а также на переход от эпизодического использования краеведческих материалов к их системному включению в уроки русского языка. Представленный пример работы с региональным текстом в 5 классе демонстрирует, как интеграция краеведческого содержания в изучение программной темы по русскому языку обеспечивает одновременное

достижение предметных, метапредметных и личностных результатов.

Перспективы исследования связаны с разработкой дидактических материалов (цифрового банка региональных текстов) и экспериментальной проверкой эффективности предложенных методических приемов и этапов изучения данных текстов в практике работы учителя на уроках русского языка.

Литература

1. Джанхотова, З.Х. Изучение регионального художественного текста на занятиях русского языка как иностранного / З.Х. Джанхотова, Л.М. Абазова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 2(185). – С. 94–97. – EDN: ZGUFJE.
2. Доминова, Т.Н. Лингвокраеведческая компетенция иностранных студентов / Т.Н. Доминова // Terra Linguistica. – 2012. – Т. 3. – № 155. – С. 51–55. – EDN: PETIYT.
3. Дымова, А.В. Формирование лингвокраеведческой компетенции у иностранных студентов вуза: Урал и сказы П.П. Бажова / А.В. Дымова, О.Ю. Яценко // Педагогическое образование в России. – 2024. – № 3. – С. 261–271. – EDN: DIXFMW.
4. Кадоло, Т.А. Региональный лексический компонент на уроках русского языка / Т.А. Кадоло // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2012. – № 2(117). – С. 126–130. – EDN: OXDCEX.
5. Ладыженская, Т.А. Русский язык. 5 класс : учебник ; в 2 ч. Ч. 1 ; 14-е изд., перераб. / Т.А. Ладыженская, М.Т. Баранов, Л.А. Тростенцова [и др.]; науч. ред. Н.М. Шанский. – М. : Просвещение, 2023. – 191 с.
6. Лобанова, О.Б. Формирование читательской грамотности обучающихся на материале региональных текстов / О.Б. Лобанова, Л.С. Шмольская, К.А. Арушанян, С.К. Бондарчук // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2021. – № 4. – С. 45–47. – EDN: WJGLQI.
7. Олесова, А.П. Региональный компонент культуроведческого аспекта обучения русскому языку в 5–7-х классах в школах Якутии / А.П. Олесова // Современные наукоемкие технологии. – 2022. – № 9. – С. 167–173. – DOI: 10.17513/snt.39327. – EDN: PEZNLP.
8. Тарчимаева, Л.Ц. Роль регионального текста в обучении русскому языку иностранцев в условиях языковой среды / Л.Ц. Тарчимаева, В. Хуни // Современное педагогическое образование. – 2021. – № 1. – С. 73–77. – EDN: ZKUZZZ.
9. Федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://fgos.ru/fgos/fgos-ooo>.

References

1. Dzhanhotova, Z.KH. Izuchenie regionalnogo khudozhestvennogo teksta na zanyatiyakh russkogo yazyka kak inostrannogo / Z.KH. Dzhanhotova, L.M. Abazova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 2(185). – S. 94–97. – EDN: ZGUFJE.
2. Dominova, T.N. Lingvokraevedcheskaya kompetentsiya inostrannykh studentov / T.N. Dominova // Terra Linguistica. – 2012. – T. 3. – № 155. – S. 51–55. – EDN: PETIYT.
3. Dymova, A.V. Formirovanie lingvokraevedcheskoj kompetentsii u inostrannykh studentov vuza: Ural i skazy P.P. Bazhova / A.V. Dymova, O.YU. Yatsenko // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. – 2024. – № 3. – S. 261–271. – EDN: DIXFMW.
4. Kadolo, T.A. Regionalnij leksicheskij komponent na urokakh russkogo yazyka / T.A. Kadolo // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta. – 2012. – № 2(117). – S. 126–130. – EDN: OXDCEX.
5. Ladyzhenskaya, T.A. Russkij yazyk. 5 klass : uchebnik ; v 2 ch. CH. 1 ; 14-e izd., pererab. / T.A. Ladyzhenskaya, M.T. Baranov, L.A. Trostentsova [i dr.]; nauch. red. N.M. SHanskij. – M. :

Prosveshchenie, 2023. – 191 s.

6. Lobanova, O.B. Formirovanie chitatelskoj gramotnosti obuchayushchikhsya na materiale regionalnykh tekstov / O.B. Lobanova, L.S. SHmul'skaya, K.A. Arushanyan, S.K. Bondarchuk // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2021. – № 4. – S. 45–47. – EDN: WJGLQI.

7. Olesova, A.P. Regionalnij komponent kulturovedcheskogo aspekta obucheniya russkomu yazyku v 5–7-kh klassakh v shkolakh YAkutii / A.P. Olesova // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. – 2022. – № 9. – S. 167–173. – DOI: 10.17513/snt.39327. – EDN: PEZNLP.

8. Tarchimaeva, L.TS. Rol regionalnogo teksta v obuchenii russkomu yazyku inostrantsev v usloviyakh yazykovoj sredy / L.TS. Tarchimaeva, V. KHuni // Sovremennoe pedagogicheskoe obrazovanie. – 2021. – № 1. – S. 73–77. – EDN: ZKUZZZ.

9. Federalnij gosudarstvennij obrazovatel'nyj standart osnovnogo obshchego obrazovaniya [Electronic resource]. – Access mode : <https://fgos.ru/fgos/fgos-ooo>.

© Е.А. Васильев, А.П. Олесова, 2026

СПОРТИВНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ДЛЯ ДЕТЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

А.А. ЛЕОНОВА, С.А. ЗАГУЗОВА

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»,
г. Тамбов

Ключевые слова и фразы: умственная отсталость; внеурочная деятельность; двигательные способности; коррекция; инклюзивные практики.

Аннотация: В статье представлена комплексная спортивно-оздоровительная программа, которая ориентирована на прогресс ключевых двигательных способностей и на улучшение таких важных для детей с данным отклонением в развитии качеств, как сила, координация движений, выносливость. Цель исследования: изучение эффективных возможностей организации дополнительных спортивно-оздоровительных внеклассных занятий по инклюзивному физическому воспитанию со школьниками с умственной отсталостью. Гипотеза исследования: предположение, что правильно подобранные средства и методы развития двигательных способностей будут способствовать повышению работоспособности и ресинтезу параметров здоровья искомого контингента. Методы исследования: анализ теоретических источников, педагогическое наблюдение, педагогический эксперимент, беседы с педагогами. Полученные результаты показывают, что проведенный педагогический эксперимент продемонстрировал эффективность разработанной нами методики. Улучшить физическое состояние школьников с умственной отсталостью, корректировать их двигательные нарушения возможно с помощью внеурочной деятельности спортивно-оздоровительной направленности.

Согласно ФГОС, для детей с умственной отсталостью внеурочная деятельность – это образовательная деятельность, отличающаяся от урока и направленная на освоение основной общеобразовательной программы для умственно отсталых детей. ФГОС закрепил обязанность внедрения внеурочной деятельности во всех образовательных организациях, в том числе и в коррекционных школах-интернатах.

Внеурочная деятельность спортивно-оздоровительной направленности в таких учебных заведениях играет важную роль в комплексном развитии школьников. Ее цель – не только укрепление физического здоровья и развитие двигательных умений и навыков, коррекция нарушений развития, но и создание благоприятной среды для гармоничного личностного роста. Занятия спортивно-оздоровительной направленности способствуют повышению функциональных возможностей организма школьников, развитию физических качеств, повышая выносливость, быстроту, силу, координацию и

гибкость [2]. Это, в свою очередь, положительно влияет на учебную успеваемость, так как хорошее физическое состояние напрямую связано с концентрацией внимания, памятью и когнитивными функциями. Дети, регулярно занимающиеся спортом, чаще проявляют дисциплину, целеустремленность и умение работать в команде [1].

Целью работы являлось изучение эффективных возможностей организации дополнительных спортивно-оздоровительных внеклассных занятий по инклюзивному физическому воспитанию со школьниками с умственной отсталостью.

Эффективность внеурочной спортивно-оздоровительной деятельности во многом определяется грамотным подбором методов и средств адаптивной физической культуры. Важно, чтобы занятия были интересными и увлекательными для детей, чтобы они воспринимали спорт как источник удовольствия и возможность самореализации.

Методологической основой нашего исследования послужила опора на дидактический принцип «доступности в обучении», организационно-методический прием «поощрительного балльного стимулирования», а также на инклюзивные практики. Основными методами научного познания, которые мы использовали в ходе исследования, являлись: логическая обработка материала; педагогическое наблюдение; педагогический эксперимент, беседы с педагогами.

На сегодняшний день проблема здоровья детей остро форсируется и является важным аспектом, поскольку процент здоровых детей значительно сократился [3].

Перед началом учебного года для проведения внеурочной спортивно-оздоровительной деятельности в Тамбовском областном государственном автономном общеобразовательном учреждении «Котовская школа-интернат для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья» учителем физической культуры (совместно с директором) была разработана программа, в которой было представлено основное содержание и примерные сроки проведения внеурочных спортивно-оздоровительных занятий и мероприятий.

За основу содержания спортивно-оздоровительной деятельности в школе-интернате мы брали программу по адаптивному физическому воспитанию для школ-интернатов для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья [4].

Цель программы – не просто улучшение физического состояния детей, а гармоничное развитие личности, повышение самооценки и социальной адаптации.

Так как мы планировали проведение внеурочной спортивно-оздоровительной деятельности совместно с учащимися общеобразовательной школы, то данная программа была согласована с директором и заместителем по воспитательной работе МБОУ «Школа-ЭКОТЕХ» г. Котовска Тамбовской области. Данная школа организовала группу детей (по их желанию) для посещений спортивно-оздоровительных мероприятий школы-интерната, используя так называемые инклюзивные практики, т.е. социально значимую деятельность, направленную на решение социальных и образовательных задач учащихся; используя совокупность форм, методов и способов этой деятельности и придерживаясь принципа всестороннего развития детей.

В основе спортивно-оздоровительной программы для школьников с умственной отсталостью, реализуемой в коррекционной школе-интернате, лежит комплексный подход, включающий в себя регулярные занятия по общей физической подготовке (ОФП) и разнообразные спортивно-оздоровительные мероприятия. В процессе разработки содержания данной программы мы учли двигательные нарушения, функциональные особенности, психомоторное развитие и существующие соматические заболевания у школьников с умственной отсталостью (информация была получена у врача школы-интерната).

Для занятий по ОФП был подобран специально комплекс упражнений, учитывающий особенности физического развития, физической подготовленности и состояния здоровья детей с умственной отсталостью. Упражнения подбирались таким образом, чтобы они были доступны для всех учеников. Также при выполнении данного комплекса постепенно увеличивалась нагрузка и сложность выполнения упражнений в соответствии с прогрессом каждого ученика.

В специальный комплекс были включены упражнения с использованием различного спортивного инвентаря: резиновых мячей, скакалок, обручей, гимнастических палок и др. При этом особое внимание уделялось развитию мелкой моторики, что положительно влияло на развитие когнитивных функций. Перед выполнением комплекса упражнений с детьми проводилась небольшая разминка. Специальный комплекс упражнений выполнялся на каждом занятии по ОФП, которое проходило 2 раза в неделю.

Особое внимание на дополнительных занятиях по ОФП с учащимися с умственной отсталостью уделялось корригирующим упражнениям: ходьбы, бега, прыжков, метаний, осанки и плоскостопия. Данные упражнения школьники выполняли совместно с нормотипичными сверстниками (парами). Дети из общеобразовательной школы показывали, как правильно надо выполнять то или иное упражнение, т.е. осваивали универсальные умения по взаимодействию в парах и группах. Учащиеся школы-интерната старались правильно выполнить их или демонстрировали их вариативное выполнение. Значительное время в таких занятиях отводилось подвижным играм, выбранным с учетом двигательных и психомоторных особенностей учащихся с умственной отсталостью, где они осваивали двигательные действия, составляющие

Таблица 1. Показатели физической подготовленности школьников 8–9 лет с умственной отсталостью и их сверстников из общеобразовательной школы на начало эксперимента

Показатели	Пол	Котовская школа-интернат		МБОУ «Школа-ЭКОТЕХ»	P 3–4	P 3–5
		Экспериментальная, n = 12	Контрольная 1, n = 12	Контрольная 2, n = 12		
Бег 30 м (с)	М	6,0±0,06	6,1±0,05	5,8±0,02	> 0,05	< 0,05
	Д	6,3±0,4	6,2±0,5	5,9±0,02	> 0,05	< 0,05
Бег 300 м (с)	М	75,8±0,83	76,3±0,48	61,5±0,83	> 0,05	< 0,05
	Д	77,5±0,71	78,0±1,09	69,3±1,25	> 0,05	< 0,05
Прыжок в длину с места (см)	М	138,9±1,13	138,1±0,77	151,2±1,6	> 0,05	< 0,05
	Д	137,5±1,41	137,3±1,88	145,1±1,78	> 0,05	< 0,05
Прыжки через скакалку за 30 с (кол-во раз)	М	50,6±1,39	49,9±1,81	59,86±1,73	> 0,05	< 0,05
	Д	55,4±1,56	54,3±1,06	65,1±1,27	> 0,05	< 0,05
Челночный бег 3 × 10 м (с)	М	9,9±0,07	10,0±0,03	9,7±0,4	> 0,05	< 0,05
	Д	10,4±0,06	10,5±0,07	9,9±0,05	> 0,05	< 0,05
Наклон вперед из положения сидя (см)	М	3,1±0,42	3,0±0,35	5,5±0,45	> 0,05	< 0,05
	Д	4,5±0,28	4,8±0,47	7,25±0,39	> 0,05	< 0,05

содержание игр, принимали адекватное решение в условиях игровой деятельности, учились управлять эмоциями, соблюдать дисциплину.

Помимо занятий в секциях ОФП, программа включала в себя широкое разнообразие спортивно-оздоровительных мероприятий, способствующих физическому и психоэмоциональному развитию детей. Это яркие и запоминающиеся спортивные праздники (Дни здоровья, веселые старты и эстафеты, спортивные конкурсы и др.), массовые соревнования, адаптированные под возможности исследуемых учащихся, и подвижные и упрощенные спортивные игры, организованные как на специально оборудованных площадках школы-интерната, так и на местности (стадион школы-интерната). Выбор игр и соревнований осуществлялся с учетом возрастных и индивидуальных особенностей детей с целью максимального вовлечения каждого ученика в активную деятельность. Все мероприятия планировались с учетом медицинских рекомендаций и проводились под строгим контролем врача школы-интерната.

Для определения эффективности влияния спортивно-оздоровительной программы на физическое состояние детей с умственной отсталостью, мы взяли одно из многомерных признаков этого понятия – это физическую под-

готовленность. В начале исследования мы сравнили показатели физической подготовленности исследуемых детей и их нормотипичных сверстников с общеобразовательной школы.

Для исследования (на основе предварительного тестирования) были сформированы две группы детей с умственной отсталостью (по 12 человек – 6 мальчиков и 6 девочек) и одна группа детей из общеобразовательной школы (12 человек).

Исследуемые показатели представлены в табл. 1.

На начальном этапе исследования показателей физической подготовленности исследуемых детей с умственной отсталостью мы не выявили значительных различий между этими группами, что указывает на схожий уровень участников и относительную однородность групп перед началом эксперимента. При сравнении групп детей с умственной отсталостью и их нормотипичных сверстников хочется отметить значительное отставание в данных показателях, которое имеет достоверность различий ($p < 0,05$).

Для оценки скоростных способностей был взят тест – бег 30 м, координационных – челночный бег 3 × 10 м, скоростно-силовых – прыжок в длину с места и прыжки через скакалку

Таблица 2. Показатели физической подготовленности школьников 8–9 лет с умственной отсталостью и их сверстников из общеобразовательной школы в конце эксперимента

Показатели	Пол	Котовская школа-интернат		МБОУ «Школа-ЭКОТЕХ»	<i>P</i> 3–4	<i>P</i> 3–5
		Экспериментальная, <i>n</i> = 12	Контрольная 1, <i>n</i> = 12	Контрольная 2, <i>n</i> = 12		
Бег 30 м (с)	М	5,7±0,06	5,9±0,03	5,5±0,04	< 0,05	< 0,05
	Д	6,0±0,3	6,1±0,3	5,6±0,04	> 0,05	< 0,05
Бег 300 м (с)	М	69,0±0,77	73,5±0,57	58,2±0,56	< 0,05	< 0,05
	Д	72,5±0,46	76,3±0,96	65,6±0,6	< 0,05	< 0,05
Прыжок в длину с места (см)	М	150,1±1,84	145,4±1,78	155,8±1,35	< 0,05	< 0,05
	Д	145,2±1,25	140,4±0,39	152,9±1,14	< 0,05	< 0,05
Прыжки через скакалку за 30 с (кол-во раз)	М	59,1±1,35	52,4±1,53	63,0±1,58	< 0,05	< 0,05
	Д	61,2±1,85	54,3±1,06	69,5±1,48	< 0,05	< 0,05
Челночный бег 3 × 10 м (с)	М	9,6±0,05	9,8±0,03	9,5±0,05	< 0,05	< 0,05
	Д	10,2±0,06	10,5±0,08	9,7±0,05	< 0,05	< 0,05
Наклон вперед из положения сидя (см)	М	4,1±0,25	3,7±0,21	6,7±0,45	> 0,05	< 0,05
	Д	6,1±0,35	6,0±0,46	8,3±0,35	> 0,05	< 0,05

за 30 с, выносливости – бег 300 м и гибкости – наклон вперед из положения сидя.

Начальное тестирование явилось важным этапом, которое позволяет оценить влияние спортивно-оздоровительной программы на физическое состояние исследуемых детей. А сравнение детей из школы-интерната и детей общеобразовательной школы позволило нам определить отставание в исследуемых двигательных показателях в возрасте 8–9 лет.

В конце эксперимента мы также сравнили показатели физической подготовленности исследуемых детей (табл. 2).

Сравнение исследуемых групп в конце эксперимента показало значительные улучшения в различных показателях физической подготовленности как школьников с умственной отсталостью, так и учеников общеобразовательной школы. Во всех показателях экспериментальной группы из школы-интерната и контрольной группы 2 МБОУ «Школа-ЭКОТЕХ» в конце эксперимента наблюдается достоверность различий у мальчиков: бег 30 м – $t = 2,47$ при $p < 0,05$; бег 300 м – $t = 2,13$ при $p < 0,05$; прыжок в длину с места, (см) – $t = 2,76$ при $p < 0,05$; прыжки через скакалку за 30 с, (количество раз) – $t = 2,67$ при $p < 0,05$; челночный бег 3 × 10 м (с) – $t = 2,44$ при $p < 0,05$; наклон вперед из

положения сидя (см) – $t = 2,52$ при $p < 0,05$.

У девочек также наблюдается достоверность различий в исследуемых тестовых показателях: бег 30 м – $t = 3,12$ при $p < 0,05$; бег 300 м – $t = 2,41$ при $p < 0,05$; прыжок в длину с места, (см) – $t = 2,48$ при $p < 0,05$; прыжки через скакалку за 30 с, (количество раз) – $t = 2,84$ при $p < 0,05$; челночный бег 3 × 10 м (с) – $t = 2,14$ при $p < 0,05$; наклон вперед из положения сидя (см) – $t = 2,24$ при $p < 0,05$.

Между показателями экспериментальной и контрольной группы 1 также отмечается достоверность различий (при $p < 0,05$) в исследуемых показателях, кроме показателей бега на 30 м и теста «наклон вперед из положения сидя».

Таким образом, улучшить физическое состояние школьников с умственной отсталостью, корректировать их двигательные нарушения возможно с помощью внеурочной деятельности спортивно-оздоровительной направленности. Внеурочная деятельность со спортивно-оздоровительным направлением способствует оздоровлению и коррекции двигательных нарушений школьников с умственной отсталостью, которые достигаются в ходе активного использования ими двигательной деятельности с общеразвивающей направленностью, включающей в себя выполнение нагрузок

и активный отдых на основе оздоровительных мероприятий. Посещение школы-интерната школьниками из общеобразовательных учреждений дает возможность детям с ограниченными возможностями здоровья взаимодействовать со своими сверстниками, позволяет им учиться

у них, перенимая социальные навыки и опыт общения. Важно отметить, что такая интеграция способствует формированию у детей с ОВЗ чувства принадлежности к обществу, что, в свою очередь, положительно отражается на их психоэмоциональном состоянии.

Литература

1. Дробышева, С.А. Адаптивное физическое воспитание в системе дошкольного и школьного образования лиц с отклонениями в состоянии здоровья / С.А. Дробышева. – Волгоград : ВГАФК, 2012. – 196 с. – EDN: VXHMNN.
2. Евсеев, С.П. Адаптивная физическая культура: учебное пособие / С.П. Евсеев, Л.В. Шапкова. – М. : Советский спорт, 2000. – 240 с.
3. Мозговой, В.М. Особенности организации физического воспитания младших школьников с умственной отсталостью / В.М. Мозговой, И.В. Евтушенко // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 4. – С. 58. – EDN: YMGYPZ.
4. Айдарбекова, А.А. Программы специальных (коррекционных) образовательных учреждений VIII вида: Подготовительный, 1–4 классы : учеб. пособие; 4-е изд. / А.А. Айдарбекова, В.М. Белов, В.В. Воронкова, О.П. Гаврилушкина, И.А. Грошенков, И.В. Евтушенко, В.С. Кувшинов, С.Л. Мирский, В.М. Мозговой, Н.Н. Павлова, М.Н. Перова, Н.Д. Соколова, В.В. Эк. – М. : Просвещение, 2006. – 192 с. – ISBN: 5-09-015025-7.

References

1. Drobysheva, S.A. Adaptivnoe fizicheskoe vospitanie v sisteme doshkolnogo i shkolnogo obrazovaniya lits s otkloneniyami v sostoyanii zdorovya / S.A. Drobysheva. – Volgograd : VGAFK, 2012. – 196 s. – EDN: VXHMNN.
2. Evseev, S.P. Adaptivnaya fizicheskaya kultura: uchebnoe posobie / S.P. Evseev, L.V. SHapkova. – M. : Sovetskij sport, 2000. – 240 s.
3. Mozgovoj, V.M. Osobennosti organizatsii fizicheskogo vospitaniya mladshikh shkolnikov s umstvennoj otstalostyu / V.M. Mozgovoj, I.V. Evtushenko // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. – 2018. – № 4. – S. 58. – EDN: YMGYPZ.
4. Ajdarbekova, A.A. Programmy spetsialnykh (korrektsionnykh) obrazovatelnykh uchrezhdenij VIII vida: Podgotovitelnij, 1–4 klassy : ucheb. posobie; 4-e izd. / A.A. Ajdarbekova, V.M. Belov, V.V. Voronkova, O.P. Gavrilushkina, I.A. Groshenkov, I.V. Evtushenko, V.S. Kuvshinov, S.L. Mirskij, V.M. Mozgovoj, N.N. Pavlova, M.N. Perova, N.D. Sokolova, V.V. Ek. – M. : Prosveshchenie, 2006. – 192 s. – ISBN: 5-09-015025-7.

© А.А. Леонова, С.А. Загузова, 2026

ОБУЧЕНИЕ КУРСАНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ МВД РОССИИ ОГНЕВОЙ ПОДГОТОВКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕДСТВ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

А.В. МЕДВЕДЕВ¹, С.Н. СЕВЕРИН², О.В. ФИНИКОВА¹, Д.В. ФЕСЕНКО¹

¹ ФГКОУ ВО «Белгородский юридический институт
Министерства внутренних дел Российской Федерации имени И.Д. Путилина»,
г. Белгород;

² ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны,
чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»,
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова и фразы: огневая подготовка; виртуальная реальность; инновационные технологии; сотрудники органов внутренних дел; огневой контакт; совершенствование навыков; информационные технологии.

Аннотация: В статье рассматривается эффективность и целесообразность применения технологий виртуальной реальности для моделирования различных ситуаций и решения задач профессиональной деятельности сотрудников органов внутренних дел. Анализируется возможность систематического применения данного инструмента для выработки и дальнейшего совершенствования навыков сотрудников органов внутренних дел при огневых контактах с правонарушителями в различных ситуациях, а также способности принимать оперативные решения в условиях экстремальной нагрузки и нестабильного эмоционального состояния.

Цель исследования: совершенствование огневой выучки курсантов образовательных организаций МВД России.

Задачи исследования: проанализировать научно-методическую литературу по огневой подготовке; выявить наиболее эффективные средства и методы обучения огневой подготовке с использованием средств виртуальной реальности в огневой выучке курсантов образовательных организаций МВД России.

Гипотеза исследования: обучение курсантов образовательных организаций МВД России огневой подготовке с использованием средств виртуальной реальности способствует развитию тактического мышления и навыков принятия решения в условиях неопределенности.

Методы исследования: педагогическое наблюдение, сравнительный эксперимент, анализ результатов.

Достигнутые результаты исследования позволят повысить эффективность огневой выучки курсантов образовательных организаций МВД России.

Современная криминогенная обстановка в России характеризуется не только количественным ростом преступности, но и качественными изменениями – увеличивается число тяжких и особо тяжких преступлений, растет вооруженность преступников, усиливается их агрессив-

ность и готовность к противодействию правоохранительным органам. В этих условиях от уровня огневой подготовки сотрудника полиции нередко зависят жизнь и здоровье как самого полицейского, так и граждан, находящихся в зоне его ответственности [2].

Научный совет при Совете безопасности Российской Федерации рекомендовал ввести в силовые ведомства новые информационные технологии, в том числе и систему виртуальной реальности, для наиболее эффективного обучения и переподготовки кадров для дальнейшей службы, а также выполнения поставленных задач с минимизацией ошибочных действий и риска для личной безопасности.

Практика показывает, что традиционные формы и методы огневой подготовки, реализуемые в образовательных организациях МВД России, не в полной мере соответствуют требованиям современной оперативно-служебной деятельности. Анализ случаев применения огнестрельного оружия сотрудниками полиции выявляет существенные проблемы: низкую результативность стрельбы, психологическую неподготовленность к применению оружия в реальных условиях, недостаточность навыков действий с оружием в нестандартных ситуациях. В настоящее время устоявшаяся система организации учебного процесса требует модернизации на фоне совершенствования информационных технологий и развития искусственного интеллекта. Применение технологий виртуальной реальности является действенным и по-настоящему эффективным способом подготовки обучающихся образовательных организациях МВД России к решению оперативно-служебных задач в активно меняющихся условиях несения службы.

На наш взгляд, ведущая роль в данной системе принадлежит именно огневой подготовке.

Процесс обучения огневой подготовке в образовательных организациях МВД России организован таким образом, чтобы у обучающихся в результате освоения учебной программы сформировались необходимые теоретические знания и практические умения владения огнестрельным оружием. Учебная дисциплина «Огневая подготовка» включает такие темы, как тактико-технические характеристики оружия, приемы и правила стрельбы, а также практические стрельбы из различного ручного стрелкового оружия. Программа обучения направлена на развитие способности эффективно вести огонь в первую очередь на коротких дистанциях в ограниченное время, которая требует навыков быстрого прицеливания и выстрела с опережением, а также интуитивной стрельбы без прицеливания. Также важно обучение стрельбе с различных позиций, включая стрельбу с места

и в движении, например, из автомобиля, а также способности оперативно изменять позицию для избегания поражения ответным огнем. Стрельба может производиться по статическим и движущимся, индивидуальным или групповым целям, с использованием различных позиций стрельбы – стоя, с колена, лежа, в условиях понижения световой видимости, а также в присутствии различных дестабилизирующих факторов, включая необходимость замены магазина и устранения возможных задержек в стрельбе.

Традиционные упражнения курса стрельб, выполняемые в комфортных условиях закрытого тира по неподвижным мишеням, не способны сформировать навыки, необходимые для эффективных действий в подобных ситуациях. Исследования показывают, что сотрудники, демонстрирующие отличные результаты на плановых стрельбах, в реальной ситуации могут оказаться неспособными применить оружие результативно – срабатывают психологические барьеры, теряется координация движений, нарушается техника стрельбы. В этой связи приоритетным направлением совершенствования огневой подготовки становится создание на занятиях условий, моделирующих реальные экстремальные ситуации. Это предполагает включение в учебный процесс упражнений, выполняемых после физической нагрузки, с использованием защитной экипировки, в условиях звукового и светового воздействия, по внезапно появляющимся целям, с необходимостью принятия решения о правомерности применения оружия и т.п. Именно виртуальная реальность отвечает поставленным задачам – позволяет имитировать огневой контакт, формировать тактические навыки и навыки саморегуляции психоэмоционального состояния для эффективной работы в различных, в том числе и экстремальных ситуациях. Использование технических средств дает возможность:

- воспроизводить детальные пространства 3D, учитывая законы как физики, так и баллистики;
- создавать звуковые эффекты, моделировать погодные условия, рельеф местности, время суток, ограниченный обзор, дефицит времени, добавлять в локации животных и людей;
- прогнозировать спектр возможных действий противника;
- совершенствовать навыки обращения с оружием и боеприпасами;
- совершенствовать огневую помощь в

группах.

Виртуальные сценарии позволяют научить-ся оперативно реагировать на любые ситуации и реализовывать наиболее подходящие варианты действий по предотвращению правонарушений и преступлений путем выбора наиболее эффективных тактических решений. Возможность систематично отрабатывать различные упражнения позволяет обучающимся совершенствовать полученные базовые знания и доводить действия в определенных ситуациях до автоматизма. Работая в условиях воссозданной реальности, сотрудники органов внутренних дел обучаются принимать тактически правильные решения через возможность программы анализировать зоны поражения, времени реакции и допущенные ошибки с вариацией их решения.

Обратим внимание и на то, что тактическое мышление является профессионально важным качеством сотрудника органов внутренних Российской Федерации. Его формирование происходит в том числе на занятиях по огневой подготовке при решении задач, связанных с применением огнестрельного оружия и соблюдением мер личной безопасности. Виртуальная реальность является действительно отличным дополнением к практическим занятиям в тире или на полигоне, так как позволяет достичь необходимого положительного результата за более короткое время, выбрать настройку условий и локаций, а запись каждой сессии сохраняется в базе данных и наглядно демонстрирует динамику обучения. Система искусственного интеллекта в режиме реального времени фиксирует поведение и психоэмоциональное состояние обучающегося при выполнении упражнений с различными заданиями, например, появление преступника, готового к применению оружия или лица без оружия на 2 секунды, что позволяет тренировать тактическое мышление и волевую саморегуляцию в условиях ограниченного времени.

В образовательных организациях системы МВД России (например, в Московском университете МВД РФ имени В.Я. Кикотя, Омской академии МВД РФ) активно применяется система «Тир VR», которая позволяет обучающимся формировать профессиональные навыки обращения с оружием. Данный комплекс имеет несколько галерей, каждая из которых рассчитана на формирование и совершенствование навыков выполнения нормативов и упражнений, обозначенных в приказе МВД России от 2 фев-

раля 2024 г. № 44 «Об утверждении Порядка организации подготовки кадров для замещения должностей в органах внутренних дел Российской Федерации»: изготовка к стрельбе из различных положений – стоя, с колена, лежа; смена магазина из различных положений – стоя, с колена и лежа; выполнение учебных упражнений из различных видов вооружения и со сменной положения для стрельбы.

Система виртуальной реальности включает в себя техническое оборудование: VR-гарнитура, позволяющая обеспечить детальное погружение в виртуальную реальность; датчики движения и пульсометр, которые демонстрируют на экране частоту реакции, изменение пульса, уровень стресса, положение тела и оружия, а также другие факторы, возникающие или изменяющиеся в ходе выполнения определенных задач в течение всей сессии для дальнейшего анализа физического и эмоционального состояния обучающегося; макеты оружия, максимально приближенные к настоящему по параметрам, для наиболее эффективного обращения и совершенствование умений. Помимо этого, данная система включает в себя симуляторы с искусственным интеллектом, благодаря которым можно задать сценарий поведения противника и обучающегося для моделирования различных условий и вариантов прицеливания и управления оружием в целях обеспечения личной безопасности сотрудника при выполнении служебных обязанностей. Таким образом, современные технологии виртуальной реальности позволяют обучающимся выработать и усовершенствовать навыки обращения с оружием и боеприпасами, проводить огневой контакт в любых условиях, принимать правильные оперативные решения, оттачивать навыки саморегуляции и тактического мышления (в том числе и в экстремальных условиях). Наряду с достоинствами, данный инструмент имеет некоторые объективные сложности – высокая стоимость оборудования и обслуживания, что в настоящий момент времени не позволяет оборудовать данными системами все структурные подразделения системы МВД России. Исходя из этого, система виртуальной реальности служит отличным дополнением, но никак не заменой реальной тренировки в тире или на полигоне. Только опыт применения огнестрельного оружия в реальных условиях позволяет сформировать навыки огневой подготовки, тактического мышления и тактико-специальных умений.

Литература

1. Бузанов, К.Э. Психологическая подготовка курсантов Росгвардии к базовому обращению с оружием методами виртуальной реальности / К.Э. Бузанов, В.А. Боган // Экстремальная психология и безопасность личности. – 2025. – Т. 2. – № 3. – С. 34–44. – DOI: 10.17759/epps.2025020304. – EDN: SIVNTO.
2. Медведев, А.В. Вопросы методики обучения огневой выучке сотрудников полиции / А.В. Медведев // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2025. – № 3(186). – С. 97–100. – EDN: AUSSEF.
3. Трущенко, И.В. Практика обучения стрельбе сотрудников правоохранительных органов в виртуальной реальности / И.В. Трущенко, И.Г. Трущенко // Advances in Law Studies. – 2024. – № 4. – С. 38–56. – DOI: 10.29039/2409-5087-2024-12-4-71-75. – EDN: GVXPQT.

References

1. Buzanov, K.E. Psikhologicheskaya podgotovka kursantov Rosgvardii k bazovomu obrashcheniyu s oruzhiem metodami virtualnoj realnosti / K.E. Buzanov, V.A. Bogan // Ekstremalnaya psikhologiya i bezopasnost lichnosti. – 2025. – T. 2. – № 3. – S. 34–44. – DOI: 10.17759/epps.2025020304. – EDN: SIVNTO.
2. Medvedev, A.V. Voprosy metodiki obucheniya ognevoj vyuchke sotrudnikov politsii / A.V. Medvedev // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2025. – № 3(186). – S. 97–100. – EDN: AUSSEF.
3. Trushchenkov, I.V. Praktika obucheniya strelbe sotrudnikov pravookhranitelnykh organov v virtualnoj realnosti / I.V. Trushchenkov, I.G. Trushchenkova // Advances in Law Studies. – 2024. – № 4. – S. 38–56. – DOI: 10.29039/2409-5087-2024-12-4-71-75. – EDN: GVXPQT.

© А.В. Медведев, С.Н. Северин, О.В. Финикова, Д.В. Фесенко, 2026

ВЛИЯНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ MOODLE НА УЧЕБНУЮ АВТОНОМИЮ И УЧЕБНЫЕ МОТИВЫ СТУДЕНТОВ ПЕНЗГТУ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ИНОСТРАННОГО ЯЗЫКА

Ю.В. ВЕЛЬДИНА, О.Н. ЯСАРЕВСКАЯ, Е.А. ВОЛЬНИКОВА

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет»,
г. Пенза

Ключевые слова и фразы: учебная автономность; учебные мотивы; иностранный язык; студент; преподаватель; образовательная система *MOODLE*.

Аннотация: Цель данной статьи – рассмотреть влияние современных ИКТ, а именно образовательной системы *MOODLE*, на учебную автономность и учебные мотивы студентов ПензГТУ в процессе изучения иностранного языка. Практическая значимость исследования заключается в предпринятой попытке анализа влияния учебной автономности на учебные мотивы в процессе изучения иностранного языка на примере образовательной системы *MOODLE*. В ходе исследования применялись следующие методы: метод сплошной выборки и сравнительно-сопоставительный метод. Результаты исследования могут найти применение в области методики преподавания иностранного языка, а также в процессе разработки спецкурсов и семинаров.

В новых образовавшихся условиях (выход России из Болонского соглашения и разработка образовательных стандартов нового поколения) становится наиболее актуальным успешная реализация технологических платформ электронного обучения на практике [4]. Среди свободно распространенных, успешно конкурирующих с коммерческими, особую популярность получила модульная объектно-ориентированная динамическая обучающая система *MOODLE* [7]. Это одна из самых популярных систем управления электронным образованием, предназначенная для разработки электронных курсов и управления обучением.

Для описания сущности понятия «учебная автономность» обратимся к определениям Е.А. Насоновой [5], Н.Ф. Коряковцевой [3], И.Д. Трофимовой [6] и Х. Холека [8]. Данные авторы рассматривают учебную автономность как способность личности осуществлять продуктивную образовательную деятельность осознанно, принимая на себя ответственность за сам процесс и продукт данной деятельности, как результат саморазвития и самоопределения личности, ее способность к принятию решений,

к анализу и оценке учебной ситуации. Проанализировав психолого-педагогическую и методическую литературу, авторы статьи предприняли попытку дать собственное определение понятию «учебная автономность» применительно к процессу обучения иностранному языку. По мнению авторов, учебная автономность представляет собой умение и желание субъекта осуществлять учебную деятельность, сознательно ставить цель, разрабатывать алгоритм достижения этой цели и контролировать ее достижение, работая в сотрудничестве с преподавателем и сокурсниками. Важно отметить, что единой и общепринятой классификации учебных мотивов в психолого-педагогической науке не существует. Подходы к классификации зависят от позиции автора и могут быть связаны с разными критериями – содержанием мотивов, их происхождением, степенью осознанности или характером связи с учебной деятельностью. В работе мы будем придерживаться определения, данного Т.О. Гордеевой. Как отмечает автор, «главной движущей силой обучения считаются мотивы – те внутренние побуждения, которые заставляют человека заниматься познаватель-

ной деятельностью» [2, с. 40].

Далее была проведена опытно-экспериментальная работа на базе Пензенского государственного технологического университета (ПензГТУ), которая состояла из трех этапов: констатирующего, формирующего и контрольного. В эксперименте участвовало две группы 2 курса из ПензГТУ – контрольная (КГ) и экспериментальная (ЭГ). На начальном этапе в обеих группах был проведен опрос. За основу был взят опросник А.А. Реана и В.А. Якунина «Изучение мотивов учебной деятельности студентов»:

- 1) характер выполнения самостоятельной работы;
- 2) средняя самооценка;
- 3) отношение к самостоятельной работе по иностранному языку;
- 4) условия, влияющие на результат учебной автономности;
- 5) мотивы учебной деятельности.

Проанализировав результаты 1 раздела опросника (характер выполнения самостоятельной работы), было выявлено, что у обучающихся обеих групп недостаточно сформированы умения самостоятельной учебной деятельности. На вопрос: «Умеете ли Вы работать самостоятельно?» большинство респондентов выразили сомнения по этому поводу. Так, 77,3 % слушателей КГ и 75,8 % обучающихся ЭГ признались, что не умеют организовывать самостоятельную работу; 70,8 % и 71,6 % студентов КГ и ЭГ соответственно не умеют распределять свое время; 83,1 % и 84 % респондентов КГ и ЭГ отметили, что испытывают постоянную нехватку времени, что, по их мнению, является основной причиной их неуспеваемости.

Анализ данных 2 раздела (средняя самооценка) показал, что средняя самооценка сформированности умений самостоятельной работы, которая определялась по пятибалльной шкале оценивания, в обеих группах оказалась одинаковой – 2,6 балла. Респонденты отмечают у себя недостаточный уровень таких умений, как расчет времени, рациональная организация работы, досрочное выполнение, поиск информации и рефлексии.

Данные 3 раздела (отношение к самостоятельной работе по иностранному языку) показали, что чуть больше половины обучающихся, а именно 66 % студентов КГ и 62,4 % студентов ЭГ в среднем обладают положительной мотивацией к обучению, процессу познания, само-

стоятельной работе по иностранному языку как виду учебной деятельности.

Изучив полученные данные 4 раздела (условия, влияющие на результат учебной автономности), был сделан вывод о том, что у студентов обеих групп нет четко выраженных условий, которые влияют на учебную автономность и мотивацию учебной деятельности:

1) внешние условия, например, зависимость профессиональной карьеры от результатов учебы в вузе (30 % КГ, 29 % ЭГ); необходимость в изучении иностранного языка (35 % КГ и 38 % ЭГ); получение более высокооплачиваемой должности после окончания учебы в вузе (70 % КГ и 67,4 % ЭГ) и др.;

2) внутренние условия, которые выражаются в способности к учебе в вузе (50 % КГ и 52 % ЭГ); к изучению иностранного языка (36 % КГ и 29 % ЭГ) и др.

Это позволило сделать вывод, что уровень развития учебной автономности и уровень мотивации к процессу изучения иностранного языка приблизительно одинаков в обеих группах.

Помимо мотивов, вызванных процессом познания (3 раздел), при работе над 5 разделом (мотивы учебной деятельности) особое внимание было уделено: интересу к процессу учебной деятельности (26 % КГ и 29 % ЭГ); потребности в узнавании нового (68 % КГ и 70 % ЭГ); стремлению к самоутверждению (32 % КГ и 34 % ЭГ). Были изучены и внешние мотивы: четкость цели (45 % КГ и 37 % ЭГ); посильная задача (70 % КГ и 73 % ЭГ); поощрение (84 % КГ и 80 % ЭГ).

Следующий этап предполагал организацию процесса обучения иностранному языку в ЭГ с использованием образовательной системы MOODLE. В КГ обучение проходило в рамках традиционного обучения. Обучение проходило по учебному пособию И.Ю. Ваник *English for Professional Communication in Information Technology* [1]. Эксперимент продолжался 1 семестр. Работа в ЭГ проходила с дистанционным курсом. В конце семестра был проведен еще один опрос по методике А.А. Реана и В.А. Якунина в обеих группах, в ходе которого были получены следующие результаты.

1. *Характер выполнения самостоятельной работы.* Проанализировав результаты 1 раздела опросника после проведения эксперимента, было выявлено, что при ответе на вопрос: «Умеете ли Вы работать самостоя-

тельно?», 77,3 % слушателей КГ и 60,5 % обучающихся ЭГ признались, что что до сих пор испытывают некоторые сложности при организации самостоятельной работы в процессе изучения иностранного языка; 69 % обучающихся КГ и 80,3 % обучающихся ЭГ отметили, что стали уделять больше времени самостоятельной работе во внеурочное время. 70 % респондентов КГ и 78,2 % опрошенных ЭГ отметили, что научились распределять свое свободное время таким образом, что появилось больше времени на изучение новых аспектов иностранного языка (истории, культуры, достопримечательностей и т.п.).

2. *Сформированность умений самостоятельной работы.* Как отмечают 40,6 % обучающихся КГ, при организации самостоятельной работы они испытывают все также трудности и оценивают свои умения на 2,8 балла. Однако восприятие учебного материала на занятиях, рациональная организация работы (переработка, интерпретация и фиксирование учебной информации) стала продуктивней у ЭГ, что показывает рост в процентном соотношении: с 2,6 до 3,2 балла.

3. *Отношение к самостоятельной работе по иностранному языку.* Учитывая значимость учебной автономности, в ЭГ на нее стало тратиться должное количество времени, самостоятельная работа стала более продуктивной. Появляется потребность в познавательной деятельности, что способствует развитию таких важных качеств будущего специалиста, как активность и самостоятельность. 70,2 % респондентов ЭГ (66 % КГ) отмечают, что учебная автономность помогает им лучше усвоить учебный материал, чем больше они работают самостоятельно над иностранным языком, тем лучше их результаты. В целом наблюдается положительная мотивация к обучению, процессу познания, самостоятельной работе с иностранным языком как к виду учебной деятельности.

4. *Условия, влияющие на результат учебной автономности.* Изучив полученные данные 4 раздела, был сделан вывод о том, что у студентов обеих групп сформировались (в разной степени) условия, которые влияют на мотива-

цию учебной деятельности, а следовательно, и на результат учебной автономности (результаты чуть выше в ЭГ):

1) внешние условия: зависимость профессиональной карьеры от результатов учебы в вузе (32 % КГ; 42 % ЭГ); необходимость в изучении иностранного языка (40 % КГ и 51 % ЭГ) и др.;

2) внутренние условия: способность к учебе в вузе (52 % КГ и 61 % ЭГ), к изучению иностранного языка (40 % КГ и 43 % ЭГ) и др. Это позволило сделать вывод о том, что после проведения эксперимента и в ЭГ, и в КГ появился устойчивый интерес к получаемым знаниям на иностранном языке.

5. *Мотивы учебной деятельности.* Основным мотивом среди опрошиваемых (39,6 % КГ и 52,3 % ЭГ) считается интерес к процессу учебной деятельности по иностранному языку. Это, в свою очередь, вызывает желание стать высококвалифицированным и востребованным специалистом в своей отрасли (отметили 86 % всех респондентов). В связи с этим отмечаем, что даже при незначительных различиях в результатах увеличение внутренней мотивации при изучении иностранного языка связано с формированием учебной автономности обучающихся и более четкой организацией самостоятельной работы, что проще и эффективнее сделать с помощью образовательных ресурсов.

Резюмируя вышесказанное, можно прийти к выводу, что обучение иностранному языку и в рамках традиционного обучения, и с использованием образовательных систем способствует развитию учебной автономности, что ведет к повышению мотивации к изучению иностранного языка. Однако образовательная система (MOODLE) предоставляет более широкий спектр возможностей для полноценного использования процесса обучения в дистанционной системе. Анализ данных проведенного эксперимента позволил установить, что эффективная реализация учебной автономности зависит от заинтересованности в достижении результата, устойчивой мотивации и характеризуется отчетливо выраженными внутренними и внешними мотивами.

Литература

1. Ваник, И.Ю. Английский язык. Профессиональная коммуникация в области информационных технологий = English for professional communication in information technology : учеб. пособие; 2-е изд., перераб. / И.Ю. Ваник, С.П. Личевская, М.С. Левитская. – Минск : БНТУ, 2022. – 276 с.

2. Гордеева, Т.О. Динамика учебной мотивации и ориентации на оценки российских подростков в период с 1999 по 2020 гг. / Т.О. Гордеева, О.А. Сычев, А.В. Сухановская // Культурно-историческая психология. – 2022. – Т. 18. – № 3. – С. 104–112. – EDN: EPOTHF.
3. Коряковцева, Н.Ф. Автономность учащихся в учебной деятельности по овладению иностранным языком как образовательная цель / Н.Ф. Коряковцева // Иностранные языки в школе. – 2001. – № 1. – С. 9–14. – EDN: OZYRNJ.
4. Львова, Н.Н. Использование мультимедийных технологий при обучении англоязычной письменной речи / Н.Н. Львова, А.Н. Иконникова // Перспективы науки. – Тамбов : НТФ РИМ. – 2023. – № 12(171). – С. 214–217. – EDN: LAKMJF.
5. Насонова, Е.А. Развитие учебной автономии студентов неязыковых вузов при обучении иноязычному общению / Е.А. Насонова // Вестник гуманитарного факультета Ивановского государственного химико-технологического университета. – 2009. – № 4. – С. 318–322. – EDN: OHIBGN.
6. Трофимова, И.Д. Методика формирования стратегий автономного чтения у студентов языкового вуза (немецкий язык, I курс) : дис. ... канд. пед. наук / И.Д. Трофимова. – Улан-Удэ, 2003. – 222 с. – EDN: NMLLWZ.
7. MOODLE – Open source learning platform // MOODLE.org [Electronic resource]. – Access mode : <https://MOODLE.org>.
8. Holec, H. Autonomy in foreign language learning / H. Holec. – Oxford, 1981.

References

1. Vanik, I.YU. Anglijskij yazyk. Professionalnaya kommunikatsiya v oblasti informatsionnykh tekhnologij = English for professional communication in information technology : ucheb. posobie; 2-e izd., pererab. / I.YU. Vanik, S.P. Lichevskaya, M.S. Levitskaya. – Minsk : BNTU, 2022. – 276 s.
2. Gordeeva, T.O. Dinamika uchebnoj motivatsii i orientatsii na otsenki rossijskikh podrostkov v period s 1999 po 2020 gg. / T.O. Gordeeva, O.A. Sychev, A.V. Sukhanovskaya // Kulturno-istoricheskaya psikhologiya. – 2022. – T. 18. – № 3. – S. 104–112. – EDN: EPOTHF.
3. Koryakovtseva, N.F. Avtonomnost uchashchikhsya v uchebnoj deyatel'nosti po ovladeniyu inostrannym yazykom kak obrazovatel'naya tsel' / N.F. Koryakovtseva // Inostrannye yazyki v shkole. – 2001. – № 1. – S. 9–14. – EDN: OZYRNJ.
4. Lvova, N.N. Ispolzovanie multimedijnykh tekhnologij pri obuchenii angloyazychnoj pismennoj rechi / N.N. Lvova, A.N. Ikonnikova // Perspektivy nauki. – Tambov : NTF RIM. – 2023. – № 12(171). – S. 214–217. – EDN: LAKMJF.
5. Nasonova, E.A. Razvitie uchebnoj avtonomii studentov neyazykovykh vuzov pri obuchenii inoyazychnomu obshcheniyu / E.A. Nasonova // Vestnik gumanitarnogo fakulteta Ivanovskogo gosudarstvennogo khimiko-tekhnologicheskogo universiteta. – 2009. – № 4. – S. 318–322. – EDN: OHIBGN.
6. Trofimova, I.D. Metodika formirovaniya strategij avtonomnogo chteniya u studentov yazykovogo vuza (nemetskij yazyk, I kurs) : dis. ... kand. ped. nauk / I.D. Trofimova. – Ulan-Ude, 2003. – 222 s. – EDN: NMLLWZ.

© Ю.В. Вельдина, О.Н. Ясаревская, Е.А. Вольникова, 2026

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ «ПЕРЕВЕРНУТЫЙ КЛАСС» В ОРГАНИЗАЦИИ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Р.И. ДЯТЛОВА, Ф.А. НАНАЙ

ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет»,
г. Москва

Ключевые слова и фразы: технология «Перевернутый класс»; внеаудиторная работа студентов; смешанное обучение.

Аннотация: В статье рассматривается потенциал и практические аспекты внедрения технологии «перевернутый класс» для оптимизации внеаудиторной работы студентов в вузе. Цель исследования – выявить эффективные способы интеграции данной технологии в образовательный процесс и оценить ее влияние на качество самостоятельной работы обучающихся. Гипотеза исследования заключается в том, что применение технологии «перевернутый класс» способствует повышению уровня вовлеченности студентов во внеаудиторную деятельность, развитию навыков самоорганизации и более глубокому усвоению учебного материала за счет перераспределения акцентов между самостоятельной и аудиторной работой. Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи: раскрыть сущность и ключевые принципы технологии «перевернутый класс»; проанализировать существующие модели ее применения в высшей школе. Результаты исследования: у обучающихся отмечалось развитие метапредметных компетенций – навыков планирования времени, критического анализа информации и командной работы. Полученные результаты демонстрируют целесообразность дальнейшего масштабирования технологии «перевернутый класс» в системе высшего образования.

В педагогике понятие «технология» рассматривается с нескольких позиций:

1) научная: часть педагогической науки, изучающая и разрабатывающая цели, содержание и методы обучения, и проектирующая педагогические процессы; учение о совокупности методов и методик наиболее оптимального достижения педагогической цели;

2) процессуально-описательная: описание алгоритма наиболее оптимальной последовательности учебного занятия, прохождения этапов в процессе достижения планируемых результатов обучения и воспитания;

3) процессуально-действенная: осуществление технологического компонента педагогического процесса как реализация оптимальной последовательности деятельности преподавателя, позволяющая получить планируемый результат на конкретном учебном занятии [5; 9].

Существует четыре основных компонента технологии *Flipped Classroom – The Four Pillars*

of F-L-I-P (Flipped Learning Network).

1. Гибкие условия работы (*F – Flexible Environment*). Эта технология позволяет использовать разнообразные режимы работы. Представленный принцип заключается не только в физическом проявлении гибкости режима, но и в гибкости подходов, то есть в индивидуализации учебного процесса, подборе приемов и материалов для различных групп студентов.

2. Источник информации (*L – Learning Culture*). При реализации технологии «Перевернутый класс» студент самостоятельно производит отбор и анализ информации, в то время как преподаватель направляет деятельность студента в правильное русло [*Tucker. B. The Flipped Classroom – Online instruction at home frees class time for learning. // Education Next*].

3. Намеренное распределение материала (*I – Intentional Content*). Преподаватель дифференцирует материалы, которые предлагает для отработки студентами по теме он сам, и те,

которые студенты будут подбирать и отрабатывать самостоятельно. Преподаватель максимизирует активность студента в процессе обучения.

4. Педагог-мастер (*P* – *Professional Educator*). От педагога, который нацелен на работу в рамках технологии «Перевернутого Класа», требуются особые навыки, мастерство. Во время аудиторной работы педагог наблюдает за работой студентов, предоставляя обратную связь, оценку и сопровождение. Преподаватель проводит постоянную рефлексию своей деятельности, делится опытом и принимает конструктивную критику, он никогда не прекращает работу по оптимизации учебного процесса. Несмотря на кажущуюся «невидимость» преподавателя в учебном процессе при работе с данной технологией, он является неотъемлемой частью обучения, связующим элементом, на котором держится весь учебный процесс. Во внеаудиторное время в режиме «онлайн» преподаватель осуществляет проверку заданий, выполненных студентами дома, дает им обратную связь и рекомендации по работе с материалом курса.

Занятия иностранного языка по технологии «Перевернутый класс» должны включать не менее четырех компонентов. Рассмотрим следующую классификацию:

1) переориентация пространства и времени обучения с учетом индивидуальных и внутригрупповых потребностей студентов;

2) предварительный отбор и подготовка содержания обучения и решаемых задач в обучении, актуальных цифровых ресурсов и систем упражнений;

3) регулярный мониторинг результатов, достигнутых студентами при решении задач;

4) постоянная обратная связь и контроль достижений и неудач студентов.

Преимущества технологии «Перевернутого класса» изложены М. Лимниу, И. Шермбрукером, М. Лайонс. Они пишут об эмоциональной стороне практико-трансформирующей деятельности, факторе дополнительной мотивации, формировании междисциплинарного и межкультурного взаимодействия. Особо отмечена важность смешанного обучения для развития исследовательского потенциала студентов [7, с. 797].

Использование интерактивных ресурсов в образовательном пространстве для формирования иноязычной компетенции позволяет пре-

доставить следующие дидактические возможности: индивидуализацию учебного процесса, адаптацию его к личным особенностям и потребностям студентов; организацию учебного материала с учетом специфики предмета, компактно представляющего большой объем учебной информации, четко структурированный и систематизированный; усиление зрительного восприятия и облегчение усвоения учебного материала; усиление познавательной активности студентов [10; с. 320].

В числе условий использования интерактивных методов обучения отмечаются:

1) систематичность – применение в системе;

2) избирательность – не пытаться на одном занятии применять все известные преподавателю интерактивные методы;

3) поэтапность – от наиболее простых форм и методов постепенно к более сложным;

4) понимание целей и функций – знать, для чего нужен именно этот метод и именно на этом занятии;

5) учет особенностей группы – учитывать взаимоотношения в коллективе, отношение студентов к интерактивной педагогике;

6) продолжение взаимодействия за пределами аудитории – интерактивное обучение начинается в учебной аудитории, но не заканчивается в ней [2, с. 40].

Технология «Перевернутого класса» меняет классическое представление о последовательности познавательной деятельности в дидактике (введение теоретического материала и организация домашнего задания). Предполагается, что студент самостоятельно изучает теоретический материал перед занятием, а преподаватель дает возможность использовать полученные знания и навыки на занятиях (интерактивные тесты, проекты, выполнение системы заданий, обсуждения) [9].

Внедрение инновационной технологии «перевернутый класс» позволяет преподавателю повысить эффективность учебного процесса за счет того, что высвобождает время, которое перераспределяется в пользу индивидуальной работы с каждым студентом и усилением доли личной ответственности каждого студента за результат образовательной деятельности.

В процессе применения данной образовательной модели реализуется принцип интегрированности знаний, когда происходит одновременное развитие как коммуникативных, так и

профессионально-коммуникативных, информационных, академических и социальных умений [6; с. 127].

Зарубежные исследователи к числу основных причин применения описываемой технологии относят:

1) пересмотр учебных планов, переход на новые стандарты в образовании;

2) переформулирование целей преподавания и обучения;

3) подробное описание и перечисление активностей, в которых должны быть задействованы студенты;

4) активное включение в образовательный процесс информационных и коммуникационных технологий;

5) прозрачную систему оценивания студентов (критериальное оценивание) [8].

В организации работы по технологии «Перевернутый класс» необходимо учитывать положения системно-деятельностного подхода:

1) *мотивационный этап*: работа с данной технологией предполагает свободное использование любого источника информации (как бумажных, так и Интернет-источников);

2) *индикативный этап*: проектирование задач на поиск, выбор, преобразование, интерпретацию информации из Интернета;

3) *этап формирования и развития навыков*: использование элементов веб-квеста проблемных заданий, объединенных общей темой или идеей с элементами ролевой игры и с пошаговым описанием реализации процедуры;

4) *контрольно-корректирующий этап*: контроль формирования иноязычной компетенции, навыков перевода, оценка эффективности используемых инструментов, при необходимости – корректировка на определенных этапах (включение элементов теста, сочетающих открытые и закрытые вопросы; разработка системы заданий на функциональную грамотность чтения при работе с текстами; использование системы упражнений, направленных на развитие навыков структурирования и классификации информации, выделения основного и второстепенного, схематизации и т.д. [9].

Технология «Перевернутый класс» инвертирует традиционные методы преподавания, реализуя подачу материала вне классной комнаты и переводя домашнюю работу на занятие. Преподаватели готовят несколько видеолекций в неделю. Студенты смотрят дома видеолекцию, подготовленную преподавателем. Это позволя-

ет им осваивать материал в своем темпе, не будучи зажатými временными рамками занятия, дает возможность общаться с преподавателем и студентами, используя систему онлайн-дискуссий. Таким образом, преподаватели располагают большим временем, чтобы помочь студентам и объяснить разделы, вызвавшие затруднение. Студенты, как это часто бывает в традиционной системе, не игнорируют выполнение домашнего задания, потому что не поняли объяснение нового материала на занятии. Теперь они не испытывают неловкости или смущения, просматривая один и тот же материал несколько раз, пока не поймут его. После просмотра видеоматериала студенты записывают возникшие вопросы, и преподаватель разбирает эти вопросы отдельно. Традиционное домашнее задание теперь делается на занятии при поддержке и помощи преподавателя [4].

Практическое применение модели обучения «Перевернутый класс» на занятиях по иностранному языку направлено на развитие восприятия и понимания иноязычной речи на слух (то есть через аудирование осуществляется освоение навыков говорения, чтения и письма), на овладение грамматическим строем изучаемого языка [1; с. 33].

К достоинствам «Перевернутого класса» относят тот факт, что данная технология позволяет не только изучать новый материал, но и повторять, закреплять и обобщать пройденный. Для определения степени усвоения материала преподавателям рекомендуется проводить контроль (этапный, рубежный) в виде контрольных работ, тестирования, блиц-опросов, проектов, презентаций) [1; с. 33].

При правильной организации работы *Flipped Classroom* студент перестает быть пассивным слушателем или активным переписчиком содержания учебного материала с доски (слайдов) и выполняет более сложную когнитивную деятельность при поддержке преподавателя, быстрее достигая успешных результатов; активно взаимодействуя на занятиях с преподавателем и одноклассниками, обучающийся развивает критическое мышление и делает его естественной частью дальнейшего процесса обучения и самообучения; работая то индивидуально, то в мини-группах, студенты формируют в себе такие черты, как ответственность и самостоятельность, вовлеченность и лидерство, критичность и адаптивность, которые, безусловно, помогут им в дальнейшем

лично и профессионально расти и самореализовываться; для преподавателя появляется необходимость и возможность личного профессионального роста, что делает преподавателя более конкурентоспособным в условиях реформирования высшей школы; появляется возможность отойти от преимущественно используемого на лекциях монолога в общении с обучаемыми к более творческому диалоговому режиму работы на практических занятиях; аудиторное время расходуется более рационально, появляется возможность проведения почти на каждом занятии проверочного мероприятия, что, безусловно, приводит студента к необходимости заниматься систематически, а не от случая к случаю; в восприятии студента преподаватель перестает быть «единственным источником знаний», значительную долю ответственности за промежуточные и конечные результаты обучения теперь несет сам студент.

Выделяются недостатки технологии «перевернутого обучения»: не существует единой модели «перевернутого обучения», поэтому от преподавателя требуется готовность к очень большому объему дополнительной работы, а

также готовность к творческому поиску, изучению новых знаний и приобретению новых навыков; данная технология требует от преподавателя готовности изменить привычный стиль работы. Некоторые студенты не желают отказываться от привычной организации учебного процесса в пользу усиления самостоятельной работы и повышения собственной ответственности за конечный результат.

Многочисленные отзывы преподавателей свидетельствуют о том, что эта технология при ее грамотной организации может быть использована как достаточно эффективный инструмент повышения качества обучения в рамках компетентностно-ориентированного подхода, особенно по практико-ориентированным направлениям подготовки [3; с. 119].

Как отметили зарубежные исследователи, «Перевернутый класс», действительно, ориентирован на студентов и является удобным методом в обучении благодаря возможностям, которые появятся у преподавателя, когда он освободит большую часть классного времени, которая ранее уходила на рутинную работу.

Литература

1. Думина, Е.В. Образовательный потенциал педагогической модели «Перевернутый класс» в условиях иноязычной подготовки студентов неязыкового вуза / Е.В. Думина // Вестник МГЛУ. Гуманитарные науки. – 2018. – № 17(815). – 33 с. – EDN: ZIHSBI.
2. Крылова, М.Н. Интерактивные методы в системе преподавания гуманитарных дисциплин в техническом вузе / М.Н. Крылова // Перспективы науки и образования. – 2016. – № 4 (22). – 40 с. – EDN: WTFQMF.
3. Логинова, А.В. Особенности использования и принципы функционирования педагогической модели «перевернутый класс» / А.В. Логинова // Молодой ученый. – 2015. – № 9(89). – С. 1114–1119. – EDN: TRNFFP.
4. Мастерская Марии Курвитс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.marinakurvits.com/2014/02/blog-post.html>.
5. Пласкина, М.В. Понятие «технология обучения» в современной педагогике / М.В. Пласкина // Педагогика: традиции и инновации : материалы V Международной научной конференции (г. Челябинск, июнь 2014 г.). – Т. 0. – Челябинск : Два комсомольца, 2014. – С. 9–11. – EDN: SXBIXB.
6. Полухина, М.О. Использование технологии смешанного обучения «Перевернутый класс» на основе платформы «Ted-Ed» / М.О. Полухина, Э.Э. Валеева // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Психолого-педагогические науки. – 2018. – № 3(39). – С. 122–132. – EDN: YNPYZF.
7. Limniou, M. Traditional and flipped classroom approaches delivered by two different teachers: the student perspective / M. Limniou, I. Schermbucker, M. Lyons // Education and Information Technologies. – 2018. – Vol. 23. – No. 2. – P. 797–817. – DOI: 10.1007/s10639-017-9636-8.
8. Asuncion Romero Lopez, M. European Higher Education Area-Driven Educational Innovation / M. Asuncion Romero Lopez // Procedia – Social and Behavioral Sciences : 7th International conference on International Education «Education, Health and ICT for a Transcultural World», EDUHEM

2016, 15–17 June 2016, Almeria, Spain. – 2017. – Vol. 237(3). – P. 1505–1512. – DOI: 10.1016/j.sbspro.2017.02.237.

9. Ryabchikova, V.G. Using interactive worksheets when teaching foreign languages by the «Flipped class» technology / V.G. Ryabchikova, O.S. Rubleva, N.A. Sergeeva, N.A. Yakovleva // Perspectives of Science and Education. – 2020. – Vol. 45(3). – P. 201.

10. Ryabkova, V.V. Development of speech activity with the help of mobile devices and their applications (on the example of the English language) / V.V. Ryabkova // Perspectives of Science and Education. – 2019. – Vol. 2(38). – P. 320–326. – DOI: 10.32744/pse.2019.2.24. – EDN: MKCIWS.

References

1. Dumina, E.V. Obrazovatelnyj potentsial pedagogicheskoy modeli «Perevernutij klass» v usloviyakh inoyazychnoj podgotovki studentov neyazykovogo vuza / E.V. Dumina // Vestnik MGLU. Gumanitarnye nauki. – 2018. – № 17(815). – 33 s. – EDN: ZIHSBI.

2. Krylova, M.N. Interaktivnye metody v sisteme prepodavaniya gumanitarnykh distsiplin v tekhnicheskoy vuzе / M.N. Krylova // Perspektivy nauki i obrazovaniya. – 2016. – № 4 (22). – 40 s. – EDN: WTFQMF.

3. Loginova, A.V. Osobennosti ispolzovaniya i printsipy funktsionirovaniya pedagogicheskoy modeli «perevernutij klass» / A.V. Loginova // Molodoj uchenij. – 2015. – № 9(89). – S. 1114–1119. – EDN: TRNFFP.

4. Masterskaya Marii Kurvits [Electronic resource]. – Access mode : <http://www.marinakurvits.com/2014/02/blog-post.html>.

5. Plaskina, M.V. Ponyatie «tekhnologiya obucheniya» v sovremennoj pedagogike / M.V. Plaskina // Pedagogika: traditsii i innovatsii : materialy V Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii (g. Chelyabinsk, iyun 2014 g.). – T. 0. – Chelyabinsk : Dva komsomoltsa, 2014. – S. 9–11. – EDN: SXBIXB.

6. Polukhina, M.O. Ispolzovanie tekhnologii smeshannogo obucheniya «Perevernutij klass» na osnove platformy «Ted-Ed» / M.O. Polukhina, E.E. Valeeva // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Psikhologo-pedagogicheskie nauki. – 2018. – № 3(39). – S. 122–132. – EDN: YNPYZF.

© Р.И. Дятлова, Ф.А. Нанай, 2026

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВОЕННО-ПОЛИТИЧЕСКИХ ОРГАНОВ В ВОЕННОМ ВУЗЕ

С.В. ЗАРЯЕВ, В.С. ОСТАПЕНКО

ФГКВОУ ВО «Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»;

*Центральный филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный университет правосудия имени В.М. Лебедева»,
г. Воронеж*

Ключевые слова и фразы: военно-политические органы; военные вузы; технологическое обеспечение; специалисты военно-политической работы; направления технологического обеспечения.

Аннотация: Цель статьи – сформулировать основные положения технологического обеспечения процесса подготовки специалистов военно-политических органов в военном вузе. Решались следующие задачи: рассмотреть в педагогическом аспекте интерактивные и инновационные формы, методы, средства, организационные мероприятия, психологическую поддержку применительно к заявленной теме; выявить и конкретизировать основные направления технологического обеспечения подготовки специалистов военно-политической работы в специфических условиях военного вуза. Гипотеза: авторы полагают, что повышение качества подготовки специалистов военно-политической работы может эффективно осуществляться при реализации технологической составляющей исследуемого процесса в военном вузе. Методы исследования: изучение научной литературы по теме, абстрагирование, обобщение, анализ, синтез. Достигнутые результаты: реализация заявленной технологии позволит интенсифицировать и повысить качество рассматриваемого процесса в образовательных организациях Министерства обороны РФ.

Технология военно-профессиональной подготовки специалистов военно-политических органов в России – это сложная, многоуровневая структура, которая находится в стадии активного становления. Технологическое обеспечение подготовки специалистов военно-политических органов в военном вузе представляет собой комплексную систему, включающую нормативно-правовую, материально-техническую, информационно-технологическую и методическую составляющие. Ее цель – формирование у будущих офицеров-политработников профессиональных компетенций, необходимых для эффективной военно-политической работы в войсках. Современный подход к обучению базируется на синтезе фундаментальных знаний, современных педагогических методов и, что особенно важно, на интеграции боевого опыта, полученного в ходе специальной военной операции (СВО), в образовательный процесс

военных вузов. Эта система нацелена на подготовку специалистов нового типа – не просто воспитателя, но и бойца-лидера, готового эффективно действовать в условиях высокой неопределенности и гибридных военных конфликтов. Рассматриваемая проблема прямо связана с последними нормативно-правовыми документами, такими как приказ Министра обороны РФ от 22 февраля 2019 г. № 95 «Об организации военно-политической подготовки в Вооруженных Силах Российской Федерации» [5]; приказ Министра обороны РФ от 28 декабря 2021 г. № 803 «Об утверждении Руководства по организации военно-политической работы в Вооруженных Силах Российской Федерации» [6]; приказ Министра обороны РФ от 22 февраля 2022 г. № 110 «Об утверждении Положения о Главном военно-политическом управлении Вооруженных Сил Российской Федерации» [7], регулирующие организацию и проведение военно-полити-

ческой работы (**ВПР**) в Министерстве обороны Российской Федерации.

Вопросы технологического обеспечения военно-профессиональной подготовки специалистов данного профиля рассматривали Б.Л. Беляков, В.П. Беркут, Н.И. Семизоров, Е.В. Смирнов, В.Е. Шинкевич [1], В.В. Курдубова, О.Г. Салищева, Е.О. Шахвердова [2], А.В. Малоземов, А.А. Белянский [3], Е.Ю. Миненко, В.А. Дюбо, О.С. Кошелев [4] и др. Однако нельзя сказать, что вопросы организации и проведения ВПР решены в полном объеме и поэтому требуют дальнейшего исследования, так как авторы подчеркивают, что ВПР «представляет собой одно из ключевых звеньев системы обеспечения высокой боевой готовности Вооруженных Сил России, формируя и развивая человеческий ресурс военной организации общества» [1, с. 108].

Можно утверждать, что система технологического обеспечения рассматриваемого процесса в более конкретном выражении должна включать: внедрение интерактивных и инновационных форм, методов, средств в процесс подготовки специалистов для ВПР; целенаправленную организацию данной работы и умение ее планировать, проводить, в том числе в боевых условиях; воспитательную работу в рамках ВПР; развитие навыков эффективного управления первичными воинскими коллективами как в мирных условиях, так и на линии боевого соприкосновения; психологическую поддержку, включающую понимание основ психологии и умение ее оказывать военнослужащим; эффективное взаимодействие с органами военного управления (командирами, штабами) в интересах ВПР.

Концепция подготовки специалистов ВПР по программам специалитета (код 56.05.08 «Военно-политическая работа») предусматривает сетевую систему обучения в военных вузах (военные училища, институты, академии, университеты) для первичного звена (рота, батарея), тактического (полк, бригада) и оперативного (соединения, объединения). На занятиях эффективно применяются личностно ориентированные технологии, которые предполагают активное включение обучающихся в образовательный процесс, превращая их из пассивных слушателей в активных участников. Г.К. Селевко подчеркивает, что «в центре внимания личностно ориентированных технологий – уникальная целостная личность, которая стремится

к максимальной реализации своих возможностей (самоактуализации), открыта для восприятия нового опыта, способна на осознанный и ответственный выбор в разнообразных жизненных ситуациях» [9, с. 42].

Для повышения качества и эффективности обучения специалистов ВПР в военном вузе широко применяются следующие современные технологии.

1. Активные и интерактивные методы обучения: основной упор делается на практико-ориентированные методы, такие как разбор конкретных ситуаций (*case studies*), деловые и тактико-специальные игры, моделирование боевых ситуаций на основе полученного опыта СВО.

2. Цифровые технологии: в учебный процесс внедряются технологии анализа данных (дата-аналитики), концептуального картирования для структурирования сложной информации, а также 3D-моделирование и технологии виртуальной реальности (*VR*) для создания реалистичных симуляторов.

3. Технологии информационной борьбы: в свете современных вызовов особое внимание уделяется подготовке специалистов ВПР к ведению информационного противоборства, включая работу с технологиями распознавания дипфейков.

Важное значение приобретает интеграция боевого опыта, полученного за период СВО, в систему военно-политической подготовки специалистов. Содержание образовательных программ непрерывно обновляется с учетом опыта, полученного в ходе СВО, начиная с 2022 г.

Во-первых, это обновление учебных модулей, когда активно пересматривается содержание учебных дисциплин с акцентом на такие направления, как идеологическая и моральная устойчивость, информационная безопасность, психологическая поддержка личного состава и управление многонациональным коллективом в боевых условиях. В.В. Курдубова, О.Г. Салищева, Е.О. Шахвердова отмечают, что «к специфическим аспектам военно-профессиональной деятельности относятся моральная и патриотическая составляющая обучения и воспитания: осознание ответственности за защиту Родины, формирование национального сознания и чувства долга, дисциплина и субординация, готовность к экстремальным ситуациям» [2, с. 52].

Во-вторых, это привлечение опытных ин-

структоров к проведению занятий, имеющих непосредственный боевой опыт, знания, навыки и умения.

В-третьих, это учет особенностей обучающихся, которые являлись участниками боевых действий. Система подготовки специалистов ВПР должна учитывать этот факт, выстраивая обучение на основе их уникального боевого опыта.

С учетом опыта СВО, технологическое обеспечение ВПР претерпевает значительную трансформацию и предполагает повышение его эффективности по следующим основным направлениям.

1. Адаптация к условиям боевых действий, что предполагает гибкость форм и методов ВПР в условиях высокой динамичности боя и угрозы со стороны БПЛА, когда классические методы (например, проведение занятий в составе подразделений) часто невозможны. Приоритет смещается в сторону индивидуальной работы с военнослужащими и использования лидерского потенциала авторитетных бойцов для доведения информации; интеграции ВПР в боевую работу – она все теснее переплетается с тактическими боевыми задачами. Сотрудники ВПР на линии боевого соприкосновения активно разъясняют личному составу цели и задачи СВО, а также роль каждого подразделения в общем успехе, что напрямую влияет на боевой настрой военнослужащих.

2. Усиление психологической подготовки личного состава зависит от устойчивости военнослужащих в информационно-психологическом противоборстве, что предполагает защиту от негативного воздействия, и ключевой задачей становится защита личного состава от массированного информационно-психологического давления противника. А.В. Малезмов и А.А. Белянский, опираясь на опыт СВО, подчеркивают, что «враг влияет на психику, опираясь на мировоззрение, традиции, убеждения и привычки, подбирая ключ к когнитивной системе, чтобы манипулировать поведением, влиять на решения, деморализовать и дискредитировать» [3, с. 36]. Это требует от офицеров ВПР глубокого понимания методов информационной войны; активного информационного воздействия, которое включает в себя не только оборону, но и наступление. Речь идет о проведении агитационно-пропагандистских акций с привлечением специалистов, а также о психологическом воздействии на противника, например,

с помощью не только интернет-ресурсов, но и обычных листовок и громкоговорящей связи.

3. Еще одно направление – это целенаправленная работа специалистов ВПР с личным составом, которая реализуется через учет различного контингента военнослужащих (контрактники, мобилизованные, добровольцы), имеющих разный боевой опыт и мотивацию. Это требует от офицеров ВПР навыков работы с военнослужащими, выполняющими специфические задачи в зоне СВО, и индивидуального подхода к ним, усиление психологической поддержки, так как постоянный стресс, угроза жизни и потери товарищей требуют качественной психологической помощи. Это направление выделяется в качестве одного из приоритетных, наряду с поддержанием морального духа через мероприятия военно-патриотической и культурно-досуговой направленности.

4. Важнейшим направлением является взаимодействие с обществом и государством, что выражается в следующем: ВПР выходит за рамки армии, активно взаимодействуя с органами власти и общественными организациями для военно-патриотического воспитания граждан; усиление социальной поддержки – важным является создание условий для реализации социальных гарантий военнослужащих и членов их семей, а также адаптация участников СВО к мирной жизни после боевой службы.

5. Востребованным является такое направление, как совершенствование подготовки кадров, реализуемое через обновление образовательных программ, так как опыт СВО выявил необходимость корректировки программ подготовки офицеров ВПР в военных вузах; практико-ориентированное обучение, что предполагает внедрение новых тематических блоков (информационная безопасность, психологическая поддержка) и активных методов обучения (ситуационные задачи, моделирование боевых ситуаций) с привлечением офицеров, имеющих боевой опыт. На научно-практической конференции «Актуальные вопросы военно-политической и кадровой работы в вузе, внедрение опыта специальной военной операции в образовательный процесс» особо было подчеркнуто, что «с учетом опыта специальной военной операции вузами постоянно обновляется содержание образовательных программ, совершенствуется учебно-материальная база. Основное внимание уделяется практическому обучению слушателей и курсантов» [8].

В целом современная ВПР эволюционирует от формальных занятий к гибкой, высокопрофессиональной деятельности, интегрированной во все аспекты боевой подготовки и повседневной жизни войск. Ее цель – формирование морально устойчивого, сплоченного и профессионального воинского коллектива, способного эффективно действовать в самых сложных

боевых условиях. Таким образом, технология подготовки специалистов ВПР в военных вузах представляет собой динамичную, многогранную систему, которая находится в постоянном развитии. Ее главная отличительная черта сегодня – ориентация на практику и максимально быстрое внедрение боевого опыта в образовательный процесс военных вузов.

Литература

1. Беляков, Б.Л. Педагогические аспекты модернизации системы подготовки кадров органов военно-политической работы (офицеров-воспитателей) Вооруженных Сил Российской Федерации (на опыте вузов РВСН) / Б.Л. Беляков, В.П. Беркут, Н.И. Семизоров, Е.В. Смирнов, В.Е. Шинкевич // Отечественная и зарубежная педагогика. – 2022. – Т. 1. – № 1. – С. 105–122. – DOI: 10.24412/2224-0772-2022-82-105-122. – EDN: WZMGJE.
2. Курдубова, В.В. Теоретические основы технологии подготовки обучающихся в военных образовательных организациях высшего образования Российской Федерации / В.В. Курдубова, О.Г. Салищева, Е.О. Шахвердова // Педагогические чтения, посвященные памяти профессора В.П. Манухина, в честь 30-летия Московского гуманитарно-экономического института : материалы 2 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Мурманск, 21 ноября 2024 г.). – Чебоксары : Среда, 2024. – С. 51–54.
3. Малоземов, А.В. Боевой опыт специальной военной операции как условие воспитания нравственно-волевой устойчивости у военнослужащих десантных войск / А.В. Малоземов, А.А. Белянский // Военный академический журнал. – 2024. – № 1(41). – С. 35–39. – EDN: JREZGH.
4. Миненко, Е.Ю. Использование андраго-педагогического подхода при обучении курсантов высших военно-учебных заведений Министерства обороны Российской Федерации / Е.Ю. Миненко, В.А. Дюбо, О.С. Кошелев // Молодой ученый. – 2017. – № 45(149). – С. 234–236. – EDN: ZSQENJ.
5. Об организации военно-политической подготовки в Вооруженных Силах Российской Федерации : Приказ Министра обороны РФ от 22 февраля 2019 г. № 95 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://base.garant.ru/400645308>.
6. Об утверждении Руководства по организации военно-политической работы в Вооруженных Силах Российской Федерации : приказ Министра обороны Российской Федерации от 28 декабря 2021 г. № 803 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://doc.mil.ru/documents/quick_search/npa.htm.
7. Об утверждении Положения о Главном военно-политическом управлении Вооруженных Сил Российской Федерации: приказ Министра обороны от 22 февраля 2022 г. № 110 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://voen-pravo.ru/voennoe_pravo/documents/projects-ppa/6219.
8. Подготовка офицерских кадров с учетом передового боевого опыта : материалы научно-практической конференции «Актуальные вопросы военно-политической и кадровой работы в вузе, внедрение опыта специальной военной операции в образовательный процесс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://redstar.ru/podgotovka-ofitserских-kadrov-s-uchyotom-peredovogo-boevogo-opyta>.
9. Селевко, Г.К. Современные образовательные технологии: учебное пособие / Г.К. Селевко. – М. : Народное образование, 1998. – 256 с.

References

1. Belyakov, B.L. Pedagogicheskie aspekty modernizatsii sistemy podgotovki kadrov organov voenno-politicheskoy raboty (ofitserov-vospitatelej) Vooruzhennykh Sil Rossijskoj Federatsii (na opyte vuzov RVSN) / B.L. Belyakov, V.P. Berkut, N.I. Semizorov, E.V. Smirnov, V.E. SHinkevich //

Otechestvennaya i zarubezhnaya pedagogika. – 2022. – T. 1. – № 1. – S. 105–122. – DOI: 10.24412/2224-0772-2022-82-105-122. – EDN: WZMGJE.

2. Kurdubova, V.V. Teoreticheskie osnovy tekhnologii podgotovki obuchayushchikhsya v voennykh obrazovatelnykh organizatsiyakh vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federatsii / V.V. Kurdubova, O.G. Salishcheva, E.O. SHakhverdova // Pedagogicheskie chteniya, posvyashchennye pamyati professora V.P. Manukhina, v chest 30-letiya Moskovskogo gumanitarno-ekonomicheskogo instituta : materialy 2 Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (Murmansk, 21 noyabrya 2024 g.). – CHEboksary : Sreda, 2024. – S. 51–54.

3. Malozemov, A.V. Boevoy opyt spetsialnoj voennoj operatsii kak uslovie vospitaniya npravstvenno-volevoj ustojchivosti u voennosluzhashchikh desantnykh vojsk / A.V. Malozemov, A.A. Belyanskij // Voennij akademicheskij zhurnal. – 2024. – № 1(41). – S. 35–39. – EDN: JREZGH.

4. Minenko, E.YU. Ispolzovanie andrago-pedagogicheskogo podkhoda pri obuchenii kursantov vysshikh voenno-uchebnykh zavedenij Ministerstva oborony Rossijskoj Federatsii / E.YU. Minenko, V.A. Dyubo, O.S. Koshelev // Molodoj uchenij. – 2017. – № 45(149). – S. 234–236. – EDN: ZSQEHJ.

5. Ob organizatsii voenno-politicheskoy podgotovki v Vooruzhennykh Silakh Rossijskoj Federatsii : Prikaz Ministra oborony RF ot 22 fevralya 2019 g. № 95 [Electronic resource]. – Access mode : <https://base.garant.ru/400645308>.

6. Ob utverzhdenii Rukovodstva po organizatsii voenno-politicheskoy raboty v Vooruzhennykh Silakh Rossijskoj Federatsii : prikaz Ministra oborony Rossijskoj Federatsii ot 28 dekabrya 2021 g. № 803 [Electronic resource]. – Access mode : https://doc.mil.ru/documents/quick_search/npa.htm.

7. Ob utverzhdenii Polozheniya o Glavnom voenno-politicheskom upravlenii Vooruzhennykh Sil Rossijskoj Federatsii: prikaz Ministra oborony ot 22 fevralya 2022 g. № 110 [Electronic resource]. – Access mode : https://voen-pravo.ru/voennoe_pravo/documents/projects-ppa/6219.

8. Podgotovka ofiterskikh kadrov s uchedom peredovogo boevogo opyta : materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnye voprosy voenno-politicheskoy i kadrovoj raboty v vuze, vnedrenie opyta spetsialnoj voennoj operatsii v obrazovatelnyj protsess» [Electronic resource]. – Access mode : <http://redstar.ru/podgotovka-ofiterskih-kadrov-s-uchyotom-peredovogo-boevogo-opyta>.

9. Selevko, G.K. Sovremennye obrazovatelnye tekhnologii: uchebnoe posobie / G.K. Selevko. – M. : Narodnoe obrazovanie, 1998. – 256 s.

© С.В. Заряев, В.С. Остапенко, 2026

TEACHING RUSSIAN AS A FOREIGN LANGUAGE AT A MEDICAL UNIVERSITY: DEVELOPING PROFESSIONAL COMMUNICATIVE COMPETENCE IN INTERNATIONAL STUDENTS

E.E. ORESHINA, G.L. MOLIBOGA, T.V. LOGINA

*Derzhavin Tambov State University,
Tambov*

Key words and phrases: Russian as a foreign language; communicative competence; interactive methods of training.

Abstract: The article examines general aspects of teaching Russian as a foreign language in a medical university. Despite being an integral part of education in Russia for international students and giving a great number of opportunities, the Russian language is difficult to learn. Use of interactive methods of the Russian language teaching, requiring active participation of students in various types of activities, help develop communicative competence and increase the effectiveness of the language studies.

Nowadays information, knowledge, and international communication have become key factors in socioeconomic progress. A society's intellectual potential, the level of education, and the professional training of specialists determine a country's competitiveness, as well as the pace of development in science, technology, and healthcare. Medical education occupies a special place in this system, since the quality of training for medical personnel is directly linked to the standard of medical care provided, as well as the life expectancy and quality of life of the population.

Recently the Russian system of higher medical education has been actively developing toward internationalization. Russian medical universities are becoming attractive to foreign citizens due to the high level of training provided to specialists, the relatively affordable cost of tuition, extensive opportunities for scientific research, and the recognition of their diplomas in many countries around the world. Every year, the number of international students receiving medical education in Russian increases. This necessitates the improvement of teaching methods for Russian as a Foreign Language, focused not only on developing language proficiency but also on enhancing professional communication skills.

Studying the Russian language at a medical

university is not an end in itself, but rather an essential tool for the professional training of future doctors. Proficiency in Russian enables international students to successfully master their major subjects, understand lecture content, work with scientific literature, participate in clinical practice, complete medical documentation, and engage in professional dialogue with faculty, colleagues, and patients. Therefore, Russian language instruction must be closely linked to students' future professional activities and take into account the specific nature of medical education.

A modern medical professional must possess not only in-depth professional knowledge but also a high level of communication skills. Doctors interact daily with patients, colleagues, medical staff, and members of the scientific community; therefore, the effectiveness of their professional work is largely determined by their ability to use language competently and accurately in various communication situations.

A distinctive feature of teaching Russian at a medical university is that instruction is based on the principles of professional orientation. From the very beginning, students are introduced to medical terminology, gradually transitioning from general language training to mastering the language of their field. This sequence helps prevent student

overload and ensures the gradual development of professional language competence [5, p. 70].

Language training for international students contributes not only to their successful completion of the academic program but also to their sociocultural adaptation. Proficiency in Russian facilitates communication in everyday situations, promotes the development of intercultural competence, reduces the psychological difficulties of the adaptation period, and allows students to participate more actively in the university's social life.

The primary goal of teaching Russian as a foreign language at a medical university is to develop professional communicative competence. This concept refers to a future specialist's ability to effectively use the Russian language to address professional, academic, scientific, and communicative tasks.

Professional communicative competence includes several interrelated components – mastery of general and professional medical vocabulary; knowledge of specialized terminology; the ability to comprehend professional information; skills in reading scientific and educational literature; the ability to engage in professional dialogue; proficiency in written communication when preparing medical documentation; the ability to deliver scientific reports and presentations; skills in reasoned discussion of professional issues.

These components develop in stages. Initially, the focus is on building basic language skills; then, the proportion of professionally oriented tasks – real-life situations in medical practice – gradually increases.

The organization of Russian language training at a medical university is based on a combination of traditional and modern educational technologies. The learning process includes various types of language activities: reading, listening, speaking, and writing, each of which is developed in close connection with the students' professional training.

The main areas of professionally oriented instruction include mastering medical terminology, developing professional communication skills, learning to read scientific literature, developing professional writing skills, learning to translate medical texts, developing public speaking skills [1, p. 25].

Training in working with medical documentation plays a key role. Students become familiar with the structure of medical histories, outpatient records, discharge summaries, examination reports, laboratory reports, and other types of professional

documents. They learn to use medical terminology correctly, adhere to the norms of formal business style, and present information logically.

Preparation for professional oral communication is equally important. Future doctors simulate various communication scenarios: taking a patient's history, clarifying medical history, discussing examination results, consulting with colleagues, and participating in medical conferences and scientific meetings.

Modern methods of teaching Russian as a foreign language focus on students' active participation in the educational process. Passive learning is gradually giving way to interactive teaching methods aimed at developing independence, critical thinking, and professional communication skills. The most effective methods are the communicative approach, problem-based learning, case studies, project-based learning, role-plays and business games, discussions, presentations, clinical situations. Role-playing exercises, which simulate real-life medical scenarios, play a special role. For example, students act out situations such as "doctor – patient," "doctor – patient's relative," "specialist consultation," and "clinical case presentation." Such exercises help students to simultaneously improve their language skills and develop professional thinking.

Multimedia technologies are widely used. E-learning platforms, interactive assignments, video lectures, virtual simulators, instructional videos, and specialized dictionaries significantly enhance the effectiveness of students' independent study. The use of digital resources helps develop skills in searching for, analyzing, and critically evaluating professional information.

One of the most challenging and, at the same time, important areas of study is working with professional medical texts. A modern physician must be able to quickly navigate scientific information, analyze research findings, and apply the knowledge gained in clinical practice.

During their studies, students work with various types of texts – scientific articles, textbooks, clinical guidelines, medical records, descriptions of diagnostic procedures, medication instructions, materials from medical conferences.

Particular attention is paid to developing professional translation skills. Medical translation requires not only knowledge of the language but also an understanding of the text's content, mastery of specialized terminology, and the ability to account for the specific characteristics of medical writing

[3, p. 17].

The most common challenges include:

- a large volume of specialized terminology;
- the multiple meanings of individual words;
- the presence of Latin and Greek terms;
- complex syntactic structures;
- the widespread use of the passive voice;
- a large number of abbreviations and acronyms.

To overcome these difficulties, special exercises are used that focus on working with terminology, grammatical analysis of texts, searching for key information, compiling terminology glossaries, and performing written translation.

Medical language is part of standard Russian. Despite the presence of a large number of specialized terms, the grammatical system remains the same, which allows students to apply their existing language knowledge when mastering professional discourse.

An important element of the modern educational system is students' independent work. It is this work that fosters the development of lifelong learning skills, without which a physician's professional development is impossible.

Independent study includes studying medical literature, completing written assignments, preparing presentations, working with electronic educational resources, translating scientific articles, compiling terminology dictionaries, preparing reports and presentations and participating in student

research conferences. The use of authentic materials plays a major role. Working with real medical texts allows students to become familiar with contemporary scientific terminology, the characteristics of professional writing style, and current advances in medical science. The instructor fulfills not only an informational role but also an advisory one, guiding students' independent work, helping them choose effective ways to work with the course material, and fostering self-directed learning skills.

Thus, teaching Russian as a foreign language at a medical university is a complex, multi-level process aimed at developing the professional communicative competence of future specialists. The Russian language becomes an essential tool for acquiring professional knowledge, mastering medical terminology, participating in scientific activities, and successfully interacting with patients and colleagues.

The effectiveness of language training is determined by the use of modern educational technologies, professionally oriented course content, the systematic organization of students' independent work, and the close integration of the Russian language course with medical disciplines. This comprehensive approach enables international students to develop not only a high level of proficiency in Russian but also the ability to apply it in various professional situations.

References

1. Антипина, О.В. Профориентационный компонент в учебном пособии по русскому языку как иностранному для студентов-медиков / О.В. Антипина, М.И. Винокурова // Современные проблемы профессионального образования: опыт и пути решения : материалы 4-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 1–4 октября 2019 г. – Иркутск : ИГМУ, 2019. – С. 24–29. – EDN: ZEMNGT.
2. Вострякова, Н.А. Обучение восприятию русского учебно-научного профессионально ориентированного текста иностранных студентов-медиков подготовительного факультета (на материале текстов о специальности врача-хирурга и хирургии) / Н.А. Вострякова // Язык и культура. – 2023. – № 62. – С. 58–63. – DOI: 10.17223/19996195/62/11. – EDN: INPKWH.
3. Зиновьева, Е.М. Особенности преподавания медицинской терминологии на уроках русского языка как иностранного / Е.М. Зиновьева // Вестник Тамбовского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2019. – № 180. – С. 16–20. – DOI: 10.20310/1810-0201-2019-24-180-99-105. – EDN: RXLBAL.
4. Ибрагимова, Л.Г. Преподавание РКИ в медицинском вузе (опыт обучения иностранных студентов на 2 курсе) / Л.Г. Ибрагимова, Р.М. Светлова // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 12-3. – С. 595–598. – EDN: YGYARD.
5. Тивари, И.В. Профессионально ориентированное обучение русскому как иностранному в медицинском вузе / И.В. Тивари, Е.В. Форуги // Язык. Общество. Медицина : сборник материалов XXII республиканской студенческой конференции с международным участием и XIX респу-

бликанского научно-практического семинара с международным участием (г. Гродно, 24 ноября 2022 г.) / отв. ред. Е.П. Пустошило. – Гродно : Гродненский государственный медицинский университет, 2022. – С. 67–71.

References

1. Antipina, O.V. Proforientatsionnij komponent v uchebnom posobii po russkomu yazyku kak inostrannomu dlya studentov-medikov / O.V. Antipina, M.I. Vinokurova // *Sovremennye problemy professionalnogo obrazovaniya: opyt i puti resheniya : materialy 4-j Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, 1–4 oktyabrya 2019 g.* – Irkutsk : IGMU, 2019. – S. 24–29. – EDN: ZEMNGT.
2. Vostryakova, N.A. Obuchenie vospriyatiyu russkogo uchebno-nauchnogo professionalno orientirovannogo teksta inostrannykh studentov-medikov podgotovitel'nogo fakulteta (na materiale tekstov o spetsialnosti vracha-khirusga i khirurgii) / N.A. Vostryakova // *Yazyk i kultura.* – 2023. – № 62. – S. 58–63. – DOI: 10.17223/19996195/62/11. – EDN: INPKWH.
3. Zinoveva, E.M. Osobennosti prepodavaniya meditsinskoj terminologii na urokakh russkogo yazyka kak inostrannogo / E.M. Zinoveva // *Vestnik Tambovskogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki.* – 2019. – № 180. – S. 16–20. – DOI: 10.20310/1810-0201-2019-24-180-99-105. – EDN: RXLBAL.
4. Ibragimova, L.G. Prepodavanie RKI v meditsinskom vuze (opyt obucheniya inostrannykh studentov na 2 kurse) / L.G. Ibragimova, R.M. Svetlova // *Sovremennye naukoemkie tekhnologii.* – 2016. – № 12-3. – S. 595–598. – EDN: YGYARD.
5. Tivari, I.V. Professionalno orientirovannoe obuchenie russkomu kak inostrannomu v meditsinskom vuze / I.V. Tivari, E.V. Forugi // *Yazyk. Obshchestvo. Meditsina : sbornik materialov KHKHII respublikanskoj studencheskoj konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem i KHKH respublikanskogo nauchno-prakticheskogo seminar s mezhdunarodnym uchastiem (g. Grodno, 24 noyabrya 2022 g.) / отв. ред. Е.П. Пустошило.* – Grodno : Grodnenskiy gosudarstvennij meditsinskiy universitet, 2022. – S. 67–71.

© E.E. Oreshina, G.L. Moliboga, T.V. Logina, 2026

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ НАЧИНАЮЩИХ ФЕРМЕРОВ: ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТАМИ В СФЕРЕ НОВЫХ МЕДИА В СИСТЕМЕ ПАРТНЕРСТВА «ВУЗ – МУНИЦИПАЛИТЕТ»

СУНЬ ЛЭЙ, ЧАН ВЭНЬШУО, ЧЖАН КУНЬ

*Хэйхэский университет,
г. Хэйхэ (Китай)*

Ключевые слова и фразы: сотрудничество; органы власти; специальность «Новые медиа»; профессиональная компетентность; методика; муниципалитет.

Аннотация: Цель исследования заключается в теоретическом обосновании и практической разработке организационно-методической модели сопровождения начинающих фермеров специалистами в сфере новых медиа в рамках партнерства «вуз – муниципалитет».

Задачи: выявить ключевые проблемы существующих практик медиасопровождения сельскохозяйственной деятельности; определить концептуальные основания для построения системы подготовки «новых фермеров»; сформулировать и апробировать пути трансформации роли вузовских специалистов в процессе развития локальных аграрных сообществ.

Гипотеза исследования исходит из предположения о том, что переход от внешней, «трансфузионной» модели поддержки к модели, ориентированной на формирование внутренней коммуникативной субъектности фермеров, возможен при условии переосмысления функций вузовских специалистов как «культурных посредников» и внедрения концепции «истинной красоты» (аутентичности, локализации и правдивости) в процесс обучения и контент-сопровождения.

Методы: теоретический анализ научной литературы по проблеме взаимодействия вузов и региональных сообществ, обобщение практического опыта участия специалистов направления «Новые медиа» Хэйхэского университета в проектах по поддержке местных фермеров, метод включенного наблюдения и глубинное интервьюирование участников образовательных инициатив.

Результаты: предложена система воспитания, основанная на концепции «истинной красоты», разработан подход «тщательный отбор – адаптация к местным условиям – передача подлинности», в рамках которого роль вуза трансформируется из «контент-лидера» в «институционального посредника». Обоснована эффективность предложенной модели в решении проблемы устойчивости информационно-пропагандистской деятельности по поддержке сельского хозяйства.

В условиях системного развертывания государственной стратегии возрождения сельских территорий и стремительного распространения технологий новых медиа перед аграрным сектором возникает двуединая задача.

С одной стороны, требуется внедрение инновационных методов распространения информации о сельскохозяйственной продукции, с другой – необходимо формирование внутренних коммуникативных стимулов у самих сель-

скохозяйственных производителей, которые в современной дискурсивной практике получают обозначение «новые фермеры». Сложившаяся к настоящему времени практика пропаганды, направленной на поддержку фермеров, обнаруживает существенную зависимость от внешней, «трансфузионной» поддержки: как только объем внешнего ресурсного обеспечения сокращается, пропагандистская активность утрачивает свою интенсивность и системность. В русле

обозначенной проблематики настоящее исследование обращается к анализу путей содействия подготовке местных «новых фермеров» силами специалистов в области новых медиа, рассматривая данный процесс сквозь оптику совместного развития университета и региональных сообществ. Концептуальной рамкой работы выступает идея «истинной красоты», понимаемой как единство локализации и аутентичности коммуникативных практик.

Данное исследование выходит за рамки простого освоения технических навыков и углубляется в изучение коммуникативных механизмов и логики платформенных алгоритмов, демонстрируя, что для подлинного расширения возможностей «новых фермеров» необходимо глубокое понимание экосистемы новых медиа. Лю Хайянь [4] уделила внимание тому, каким образом короткие видеоролики «новых фермеров» конструируют и транслируют образ сельской местности, а также исследовала способы отражения в этом контенте современного и многомерного облика сельской жизни. Ее работа показывает, что индивидуальные практики «новых фермеров» должны быть соотнесены с нарративами о сельском образе, что позволяет усилить их социально-культурное значение. Тан Шусинь [5] проанализировала медийный образ «новых фермеров», сконструированный газетой «Фермерский ежедневник» в контексте цифровизации сельских территорий, выявив, каким образом дискурс центральных средств массовой информации формирует социальную роль аграрных предпринимателей нового типа.

Как показывает проведенный обзор, в литературе представлены как практико-ориентированные исследования конкретных образовательных подходов и моделей подготовки в вузах, так и коммуникативные анализы, рассматривающие эффективность распространения информации, формирование имиджа и стратегии самопрезентации [1].

В сложившейся практике подготовки местных «новых фермеров» широко распространена модель, которую можно охарактеризовать как «трансфузионную». На начальном этапе реализации проектов, когда ведущую роль играют внешние силы – как правило, университеты – происходит вложение значительных профессиональных кадровых и технических ресурсов, а также обеспечение поддержки в виде трафика. Это позволяет в короткие сроки заметно повысить уровень владения фермерами инструмен-

тарием новых медиа и эффективность создаваемого ими контента [4].

В практике использования новых медиа для передачи информации фермерами широко распространена тенденция к тому, что можно назвать «ложным изяществом» – избыточная зависимость от фильтров, улучшающих внешность, тщательно прописанных сценариев и постановочных решений, оторванных от реальных условий сельской жизни и труда. В погоне за визуальной привлекательностью и интернет-трафиком создатели контента неосознанно навязывают сельской тематике урбанистические эстетические стандарты и повествовательные логики.

В ответ на обозначенные проблемы настоящее исследование предлагает построение системы подготовки «новых фермеров», основанной на концепции «истинной красоты» и нацеленной на достижение глубинных, а не поверхностных изменений. Данная система требует пересмотра исходных ценностных ориентиров: в качестве генеральной направляющей утверждается принцип «укорененности в местной традиции, отражения реальности и трансляции естественной красоты».

В рамках предлагаемой модели специалисты в области новых медиа из университетов осуществляют переход от роли «ведущих творцов» контента к роли «сотрудников, расширяющих возможности» и «долгосрочных наставников». Основная задача при этом заключается в передаче ключевых навыков непосредственно фермерам посредством организации семинаров и практических занятий на местах [1; 2]. Циклическая система повышения квалификации, выстроенная по логике «обучение – практика – применение – оценка», позволяет сделать акцент на развитии у фермеров способности самостоятельно управлять своей деятельностью и решать возникающие проблемы без постоянной внешней поддержки.

Преподаватели, студенты и фермеры совместно осуществляют углубленное исследование уникальных локальных историй и культурных символов, формируя базу данных местных материалов. При создании контента соблюдается принцип повествования о «реальных людях, реальных событиях, реальных сценах», используется простой язык кинокамеры для фиксации подлинного труда и быта [3]. На этой основе, с учетом индивидуальных особенностей каждого фермера и специфики его отрасли, выстраи-

ваются персональные профили, что позволяет сформировать многомерную матрицу образов местных аграрных предпринимателей и избежать контентной однородности.

Успешное функционирование всей системы зависит от создания экосистемы, в которой реализуется «цикл создания ценности». Разрабатывается система оценки эффективности, в основании которой лежат показатели «уровень доверия» и «культурная идентичность», что позволяет рыночной отдаче от аутентичной коммуникации стимулировать фермеров к последовательному следованию концепции «истинной красоты».

Многолетний опыт привлечения специалистов в области новых медиа из университетов к подготовке фермеров нового типа позволил выработать несколько эффективных направлений работы: создание механизма отбора и поиска талантов, укорененных в местной среде; формирование системы обучения, ориентированной на развитие навыков «процессуального повествования»; построение матрицы распространения контента на основе принципа «реальные люди перед камерой, реальные предметы в кадре, реальные сцены в повествовании».

Ключевым фактором успешности подготовки новых фермеров является точность отбора кандидатов. Пригодный кандидат должен хорошо знать местную среду, обладать развитыми навыками повествования и демонстрировать внутреннюю мотивацию к публичному самовыражению. На основе практического опыта исследовательской группой были сформулированы критерии отбора, включающие такие параметры, как знание особенностей выращивания соответствующих сельскохозяйственных культур и требований к их товарному качеству, положительное отношение к освоению инструментов работы со смартфонами и короткими

видеороликами, способность превращать реальные процессы выращивания или производства в увлекательные истории. Перед началом отбора проводится углубленное полевое исследование в целевом регионе, содержащее глубинные интервью, включенное наблюдение и анализ отраслевой статистики. На основе этих данных выстраивается четкая модель целевой группы: традиционные фермеры, владеющие уникальными навыками [1].

В ходе настоящего исследования, посвященного анализу путей содействия подготовке местных «новых фермеров» силами специалистов в области новых медиа в контексте совместного развития университета и муниципальных структур, на материале практической деятельности специалистов направления «Новые медиа» Хэйхэского университета было установлено, что явления «разрыва в подготовке» и «кризиса доверия», наблюдаемые в современной практике коммуникаций по поддержке сельского хозяйства, коренятся в доминировании внешних сил, осуществляющих «трансфузионное» вмешательство и «фильтрованное» повествование.

Предложенная в исследовании система совместного обучения, базирующаяся на концепции «истинной красоты», предполагает, что университетские специалисты в области новых медиа выступают в роли «культурных переводчиков» и «партнеров по инновациям», обеспечивая извлечение и трансформацию локальных знаний и создавая учебные программы, направленные на развитие навыков аутентичного повествования.

Такой подход позволяет фермерам обрести самостоятельность, превратившись из пассивных получателей внешней помощи в активных рассказчиков о сельской жизни и носителей культурной уверенности.

Данная статья публикуется в рамках научно-исследовательского проекта основного операционного расхода вузов в провинции Хэйлунцзян 2022 г. на тему «Исследование развития ресурсов горных дикорастущих овощей в урочище Хэйхэ для продуктов питания, имеющих лечебные свойства» Проект:2022-KYYWF-0392.

Литература

1. Ху Янь. Исследование путей подготовки «новых фермеров» в сфере электронной коммерции в вузах провинции Гуанси в контексте новых медиа / Ху Янь, Цзи Чунфэн // Сельскохозяйственная экономика Шаньси. – 2025. – № 24. – С. 142–144; 147. – DOI: 10.16675/j.cnki.cn14-1065/f.2025.24.038.
2. Ли Шупин. Анализ модели подготовки «новых фермеров» и исследование путей обучения

в сфере сельской электронной коммерции / Ли Шупин // Журнал Хубэйского открытого профессионального колледжа. – 2025. – Т. 38. – № 22. – С. 126–128.

3. Лян Юйцзюнь. Исследование факторов, влияющих на эффективность распространения коротких видеороликов о «новых фермерах» с точки зрения доступности медиа : дис. ... канд. наук / Лян Юйцзюнь. – Гуанчжоу : Университет иностранных языков и международной торговли провинции Гуандун, 2024. – DOI: 10.27032/d.cnki.ggdwu.2024.000942.

4. Лю Хайянь. Исследование распространения образа сельской местности в короткометражных видеороликах «новых фермеров» : дис. ... канд. наук / Лю Хайянь. – Цзинань : Шаньдунский институт искусств, 2024. – DOI: 10.27281/d.cnki.gsdyc.2024.000151.

5. Тан Шусинь. Исследование образа «нового фермера» в газете «Фермерский ежедневник» в контексте развития цифровых сельских районов : дис. ... канд. наук / Тан Шусинь. – Чунцин : Юго-Западный университет, 2024. – DOI: 10.27684/d.cnki.gxndx.2024.001512.

References

1. KHu YAn. Issledovanie putej podgotovki «novykh fermerov» v sfere elektronnoj kommertsii v vuzakh provintsii Guansi v kontekste novykh media / KHu YAn, TSzi CHunfen // Selskokhozyajstvennaya ekonomika SHansi. – 2025. – № 24. – S. 142–144; 147. – DOI: 10.16675/j.cnki.cn14-1065/f.2025.24.038.

2. Li SHupin. Analiz modeli podgotovki «novykh fermerov» i issledovanie putej obucheniya v sfere selskoj elektronnoj kommertsii / Li SHupin // ZHurnal KHubejskogo otkrytogo professionalnogo kolledzha. – 2025. – Т. 38. – № 22. – S. 126–128.

3. Lyan YUjtszyun. Issledovanie faktorov, vliyayushchikh na effektivnost rasprostraneniya korotkikh videorolikov o «novykh fermerakh» s tochki zreniya dostupnosti media : dis. ... kand. nauk / Lyan YUjtszyun. – Guanchzhou : Universitet inostrannykh yazykov i mezhdunarodnoj trgovli provintsii Guandun, 2024. – DOI: 10.27032/d.cnki.ggdwu.2024.000942.

4. Lyu KHajyan. Issledovanie rasprostraneniya obraza selskoj mestnosti v korotkometrazhnykh videorolikakh «novykh fermerov» : dis. ... kand. nauk / Lyu KHajyan. – TSzinan : SHandunskij institut iskusstv, 2024. – DOI: 10.27281/d.cnki.gsdyc.2024.000151.

5. Tan SHusin. Issledovanie obraza «novogo fermenta» v gazete «Fermerskij ezhdnevnik» v kontekste razvitiya tsifrovyykh selskikh rajonov : dis. ... kand. nauk / Tan SHusin. – CHuntsin : YUgo-Zapadnij universitet, 2024. – DOI: 10.27684/d.cnki.gxndx.2024.001512.

© Сунь Лэй, Чан Вэньшуо, Чжан Кунь, 2026

АННОТАЦИИ

Abstracts

A Method for Improving the Speed of Cross-Server Data Transfer Processes

V.O. Aleksandrov, E.M. Portnov

National Research University "Moscow Institute of Electronic Engineering", Moscow

Key words and phrases: cross-server data transfer; secure systems; performance; service message.

Abstract: The article examines the problems of secure cross-server data transfer between two nodes in network connections used for regular file and service information exchange. The purpose of this paper is to develop and implement a software algorithm for determining the mode of using a secure connection, parameters for inter-server data transfer, and resuming transmission after a failure. A mechanism for selecting the connection mode has been developed that takes into account the presence of an active channel, the availability of the correct state for renewal, the suitability of the current service state, and the expected time spent on each acceptable option. The hypothesis of the study is that for the correct mode selection, it is necessary to take into account the suitability of the current connection for further use, the relevance of renewal data, the correspondence of the channel state to the new transmission task, and the expected time spent for each acceptable option. An algorithm for selecting the secure connection mode has been developed that uses three possible operation scenarios: full establishment of a new connection, resumption of a previously prepared session, and reuse of an already active secure channel. The proposed algorithm provides a practical time gain relative to the existing SCP, SFTP, and rsync tools over SSH.

A Mathematical Model and an Algorithm for Multi-Criteria Optimization of Task Distribution in Project Teams Regarding the Work Style of Employees

N.Yu. Borzykh

MIREA – Russian Technological University, Moscow

Key words and phrases: lexicographic optimization; multi-criteria optimization; normalization of indicators; organizational system; decision support; distribution of tasks; work style.

Abstract: The article considers the problem of distributing tasks between project team members as a multi-criteria optimization problem. It is shown that existing project management tools, accumulating the history of task completion, do not provide a calculation procedure for automatically comparing the task characteristics with the performer's profile. The proposed approach is based on the introduction of a single normalized indicator – the employee's work style, which aggregates accumulated data on the speed of execution, quality, and compliance with deadlines. It is used as a basis for constructing a two-criterion task in a lexicographic formulation: the priority criterion is maximizing the number of meaningfully agreed assignments; the secondary criterion is minimizing the total weighted project time. An algorithm with a closed loop of parameter updates has been developed, allowing integration into the decision support system and adaptation to changes in the performance of performers. The problem statement, mathematical model, description of the algorithm, estimation of computational complexity, and results of a numerical experiment confirming the practical applicability of the method are presented.

Using the LoRaWAN Protocol for Mobile Subscriber Positioning

A.S. Bragin, E.V. Kokoreva

Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk

Key words and phrases: positioning; LoRaWAN; RSSI; GPS; technologies; RFID; Vega-Absolut.

Abstract: This article presents an analysis of the LoRaWAN network protocol on Vega-Absolut equipment as part of the implementation of subscriber positioning services. The aim of the study is to establish the relationship between the received signal power level (RSSI) and the efficiency of using neural networks. The tasks are to analyze the LoRaWAN protocol based on Vega-Absolut equipment, to perform appropriate measurements, and process the obtained data using neural networks to assess the positioning capabilities of subscribers. The use of machine learning methods for processing big data in the field of local positioning allows for an increase in accuracy by 20 % compared to traditional approaches. Data received from Vega-Absolut devices was processed in the Python software environment. The results of the study revealed both measurement errors and new directions for further research. The results obtained are of practical significance for specialists in the development of positioning systems.

Development of a Methodology for Predictive Analysis of Anomalies in Monitoring Systems

E.S. Voronin, V.G. Dorogov

National Research University "Moscow Institute of Electronic Engineering", Moscow

Key words and phrases: predictive analysis; anomalies; monitoring systems; metrics.

Abstract: The article examines the problems of improving the accuracy of incident forecasting in monitoring systems by developing a technique for two-stream merging of time series of metrics and semantic log vectors. The aim of the study is to develop and implement late-merge neural network architecture that allows detecting predictors of anomalies with sufficient lead time and a low level of false positives. The research objectives are to analyze the subject area, develop a model and methodology for predictive analysis of anomalies with a two-thread architecture of a deep neural network. Research methods are based on the use of set theory and optimization theory. A two-stream data processing mechanism has been developed that includes: a stream of metrics in the form of a one-dimensional multiscale convolution with max-pooling to capture local anomaly peaks; a stream of logs in the form of bidirectional LSTM with masked additive attention for semantic encoding of events. The hypothesis of the study is that proposed architecture makes it possible to compensate for the non-informativity of some features with early signals from others and to suppress false positives by jointly analyzing heterogeneous data sources. A modified loss function based on weighted focal loss is developed, which takes into account the class imbalance and the value of the lead time. The proposed method provides a practical gain in forecasting accuracy relative to models using only one data modality: the value of the F1 measure increased from 0.488–0.546 to 0.800, the ROC-AUC reached 0.981, while maintaining a low intensity of false positives (approximately 0.06/hour) and an average lead time of more than 2 minutes.

A Comparative Analysis of Training Methods for the Text Query Classification Model in the Technical Support System on Small Samples

D.E. Zharavin, A.A. Sukonshchikov

Vologda State University, Vologda, Russia

Key words and phrases: active learning; data augmentation; text classification; machine learning; natural language processing; transfer learning.

Abstract: The article analyzes neural network training methods for classifying text data with a limited training sample size. A lack of marked-up data often leads to overfitting problems, unstable generalization, class imbalances, and increased noise exposure. The aim of the work is to compare and evaluate the effectiveness of data augmentation, transfer and active learning in the task of distributing technical support requests. To achieve the stated goal, we prepared and processed the initial data, implemented additional training of the lightweight pre-trained model, applied augmentation methods, and selected examples for active training. The hypothesis of the study is that the use of a pre-trained language model together with augmentation and active learning improves the quality of classification using the Macro-F1 metric compared to the basic TF-IDF approach. To test the hypothesis, an experiment was conducted on a set of 1000 impersonal emails distributed in five classes. The results showed that DoBERT is superior to the basic method in terms of the Macro-F1 metric, and the use of augmentation and active learning provides additional improvements. The maximum Macro-F1 average was 0.78 for DoBERT with active training.

Neuro-fuzzy Control of a Hybrid Energy Complex Based on ANFIS 4×MISO with Fault Tolerance Against Input Loss

M.A. Zubarev, O.S. Nuya

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg

Key words and phrases: system analysis; neuro-fuzzy control; ANFIS 4 × MISO; hybrid energy complex; micro-hydroelectric power station; fault tolerance; Lipschitz constant.

Abstract: The objective of this study is to develop specialized mathematical software for a neuro-fuzzy control system managing an autonomous hybrid energy complex based on a 4 × MISO ANFIS structure capable of maintaining functionality despite the loss of some input signals. The tasks include justifying the decomposition of the mapping $F: R_{18} \rightarrow R_4$ into four independent MISO tasks; describing the mathematical models of the complex's components; formalizing the five-layer ANFIS architecture, rule initialization via the Fuzzy C-Means method, and the hybrid learning algorithm; constructing a fault-tolerance model for input loss; and performing numerical verification. The research hypothesis posits that a hybrid energy complex – integrating a predictive Sugeno ANFIS neuro-fuzzy layer with basic relay and PID control components – can remain sufficiently reliable for year-round autonomous operation even if some sensors fail. Methods employed include decomposition into four MISO tasks, Fuzzy C-Means clustering, first-order Takagi – Sugeno inference, hybrid learning, and analytical strategies for substituting missing inputs (mean imputation, conditional expectation, and membership function marginalization) with Lipschitz-based output deviation estimation; a numerical experiment was conducted in the MATLAB R2025b environment. Results: analytical models for the components and a fault-tolerance model featuring a closed-form expression for membership function marginalization were obtained; performance metrics of RMSE = 0.0817 and MAE = 0.0512 were achieved, with a discrepancy between training and validation errors of no more than 2 %; and across a full dataset of 525,600 points, 171 out of 228 failure scenarios (75 %) met the threshold requirements. The implementation is compact (608 parameters, less than 100 KB) and suitable for single-board modules. Its novelty lies in the “four nodes, six inputs, eight rules” configuration and the formalization of fault tolerance for the controlling ANFIS model in the event of sensor loss.

Complex Application of Fuzzy Logic Methods in Adaptive Context-Sensitive Information and Control Systems

V.V. Komashinsky, T.V. Komashinsky

Alfa Bank JSC, Moscow;

Radar MMS Research and Production Enterprise JSC, St. Petersburg

Key words and phrases: fuzzy logic; Fuzzy C-Means; fuzzy cognitive maps; CFCM; context-

sensitive access control; CAAC; ABAC; distributed corporate information systems; dynamic reconfiguration; risk-score; trust-score.

Abstract: The aim of the study is to improve the efficiency of context-sensitive access control and architecture of distributed corporate information systems (**RCIS**). The objectives are to formulate a scientific problem as a set of subtasks of access control and architecture reconfiguration; to conduct a comparative analysis of fuzzy logic methods (Mamdani, Sugeno, Fuzzy C-Means, NCC, CFCM); to develop a hybrid algorithm. The hypothesis suggests that the combination of contextual causal modeling (**CFCM**) and clustering (**FCM**) increases the accuracy of system state identification and reduces reconfiguration time. Methods included mathematical formalization, comparative analysis by criteria, experimental modeling. The results are as follows: The CFCM+FCM hybrid provided 93 % accuracy, F1-score 91 % with a latency of 12 ms, reducing the architecture reconfiguration time from 60 to 3–5 minutes.

Application of Neural Network Management Methods Based on Graph Neural Networks in Adaptive Context-Sensitive Information Management Systems

V.V. Komashinsky, T.V. Komashinsky

Alfa Bank JSC, Moscow;

Radar MMS Research and Production Enterprise JSC, St. Petersburg

Key words and phrases: graph neural networks; GraphSAGE; weighted GraphSAGE; Context-Aware GNN; context-sensitive access control; CAAC; ABAC; zero trust; architecture as a code; neural network management; dynamic reconfiguration.

Abstract: The aim of the study is to improve the efficiency of context-sensitive access control and architecture of distributed corporate information systems (**DCIS**) by means of graph neural networks (**GNN**). Tasks include formalizing RKIS as a heterogeneous graph; conducting a comparative analysis of GCN, GAT, GraphSAGE, weighted GraphSAGE, and CA-SA-GNN; developing a hybrid algorithm. The hypothesis suggests that combining context-adaptive modulation (**CA-SA-GNN**) and scalable weighted sampling (weighted GraphSAGE) improves query classification accuracy and architecture reconfiguration speed. Methods included mathematical formalization, criterion comparison, experimental modeling on a synthetic dataset. Results are as follows: the hybrid model achieved an AUC-ROC of 96 %, F1-score of 94 % with a latency of 15 ms, providing an accuracy of 89 % for architecture reconfiguration.

Features of Building Metrics and Models of Subsystems for Evaluating Completeness and Consistency of Temporary Streaming Data in Big Data Storage Systems

E.S. Konstantinov, A.A. Kochetkov

Ivanovo State University of Chemical Technology, Ivanovo, Russia

Key words and phrases: temporary streaming data; completeness and consistency of information; data quality; metrics and models of data quality assessment and recovery systems; big data storage systems.

Abstract: The article discusses the features of building the architecture of systems and metrics for evaluating the completeness and consistency of time-based streaming data in distributed information storage and processing systems.

It is shown that temporary streaming data is characterized by large volumes and high variability, which imposes special requirements on the methods and architecture of subsystems for evaluating their completeness and consistency at all stages of collection, transmission, processing, storage and analysis at the request of end users.

A hypothesis is formulated about evaluating the quality of temporary streaming data in terms of both temporal and structural/semantic/domain connectivity and completeness of information, as well as the validity of the distributed architecture of the streaming data quality control subsystem. Based on the analysis carried out, the article proposes the structure and model of the subsystem for evaluating and restoring consistency and completeness of information in distributed storage and processing systems. The materials of this paper can be useful for researchers and developers of software and hardware solutions in systems that require processing large amounts of information obtained from heterogeneous sources in real time.

Development of a Method for Accelerated Predictive Analysis of Financial Indicators Based on Mathematical Statistics

S.S. Korobko, Z.M. Rakhimkulov, E.M. Portnov

National Research University "Moscow Institute of Electronic Engineering", Moscow

Key words and phrases: predictive analysis; mathematical statistics; financial indicators.

Abstract: The article examines the problems of creating efficient and interpretable predictive analysis algorithms based on mathematical statistics for predicting key financial metrics of an enterprise, considering the features of time series. The hypothesis of the study is that algorithms can be developed based on a modified sliding window for OLS and preliminary decomposition with a choice of local models, which reduce the running time of predictive analysis while maintaining or improving the accuracy of calculations of the NSM, Revenue and Profit metrics. Two advanced algorithms have been developed and theoretically described: a modified sliding window for the least squares method and a pre-decomposition algorithm with a choice of local models. These algorithms are designed to reduce data analysis time while maintaining or improving the accuracy of predictions.

Integration of Vehicle Identification and Verification Methods into the Access Control System: Process Optimization for Industrial Enterprises

V.V. Kupriyanov, N.V. Efanova

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar

Key words and phrases: vehicles; identification; verification; access control; optimization; industrial enterprises.

Abstract: Integration of vehicle identification and verification methods into the access control system is becoming not just a technological improvement for industrial enterprises, but a necessary condition for improving manageability and safety. At large facilities, a significant flow of cargo and service transport is recorded on a daily basis, and manual verification of data at checkpoints leads to delays, errors and additional workload for personnel. The automated system of license plate recognition, permit reconciliation, and confirmation of entry parameters allows you to reduce the time required to pass control, eliminate duplication of operations, and reduce the risk of unauthorized access. In addition, combining identification and verification into a single access control system logic provides more accurate accounting of traffic flows, increases logistics transparency, and simplifies incident investigation.

The purpose of the article is to analyze ways to optimize the processes of identification and verification of vehicles in the access control system for industrial enterprises.

The practical significance of the study is that the study of effective methods of identification and verification of vehicles for industrial enterprises helps to optimize processes, reduce operating costs and form a stable access control system adapted to modern production tasks.

Development of a Mathematical Model of the Problem of Determining the Characteristics of an Object Based on a Text Description

L.V. Kurilova, I.S. Korneva, E.G. Dorogova

National Research University "Moscow Institute of Electronic Engineering", Moscow

Key words and phrases: mathematical model; multi-criteria optimization; text description; expert evaluations.

Abstract: The article examines the issues of improving the reliability of search results by identifying product characteristics from their text description. The goal of this work is to improve the reliability of search results by identifying product characteristics from their text descriptions. Research objectives are analytical review of modern methods and tools for determining the characteristics of an object based on a text description; formalization of the problem of determining the characteristics of an object based on a text description; development of a method for determining the characteristics of an object based on a test description. The hypothesis of the study is that to increase the reliability of the search, it is advisable to use a bagging ensemble from BiLSTM-CRF. The use of two multidirectional LSTM layers is used to account for the entire context in both directions, which corrects the disadvantage of LSTM with understanding the context in only one direction. As a result of the experimental study, the BiLSTM-CRF ensemble proposed in the developed method determines the characteristics of an object on average by 13 % more reliably than most methods. Despite a small lag behind BERT based on the results of comparing the values of F1-measures, the BiLSTM-CRF ensemble has a response rate that is 9 times higher than the BERT response rate.

Designing a Distributed Data Transmission Ecosystem for a Computer-Aided Design of Chemical and Technological Schemes

A.V. Lobanov, M.D. Pysin, E.M. Koltsova, A.M. Arkhipov

D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow

Key words and phrases: CAD; digital modeling; cloud architecture; microservice approach; web interface; REST API; chemical and technological design.

Abstract: The transition to web-based computer-aided design systems in the chemical industry makes it important to create distributed infrastructures for reliable and scalable data transfer between CAD components. The aim of the research is to design and implement a distributed information exchange ecosystem for a web application for designing chemical and technological circuits with their automatic conversion into three-dimensional models. The tasks of switching from a desktop architecture to a microservice one, integrating a Unity WebGL-based graphics core with a web interface, and developing a relational database schema for centralized project storage and a hardware library were solved. To achieve this goal, we used the methods of designing distributed systems, a REST API-oriented backend based on Flask, and client-server interaction using a unified JSON format. As a result, a three-level architecture is proposed, including a supervisor server, PostgreSQL storage, and frontend React frontend, which ensures that the functionality of the graphics module is preserved when compiled into Web Assembly and guarantees interchangeability of formats with the desktop version of the product. It is shown that the proposed ecosystem reduces the entry threshold for users due to cloud access, as well as provides scaling flexibility and support for collective work on projects. The developed architectural solutions are invariant to the type of chemical and technological production and are transferable to other subject areas that use web visualization of technological schemes.

Automation of Document Flow in Legal Activity

A.O. Manturov, M.S. Pabiyakha

*P.A. Stolypin Volga Region Institute of Management-branch of the Russian Presidential Academy
of National Economy and Public Administration, Saratov*

Key words and phrases: automation; document management; legal activity; information technologies; electronic documentation; digital transformation.

Abstract: This article is devoted to the study of the possibilities of document management automation in legal activity. The objective is to identify barriers to the introduction of electronic document management systems (EDMS) and artificial intelligence (AI) in legal practice and to develop recommendations for overcoming them. The methodology includes theoretical analysis of the regulatory framework (Federal Law No. 149, Federal Law No. 63), empirical analysis of cases of leading companies (PwC, VTB, Sber, etc.) and comparative analysis of EDMS software products. Hypothesis: the implementation of integrated EDMS with AI integration reduces operating costs and document processing time by an average of 40 %, minimizing the risks of the human factor. Results: the effectiveness of AI for routine tasks (contract analysis, compliance) is proved; key barriers (legislative, integration, cloud security risks) are identified. It is concluded that there is a need for parallel development of the regulatory framework and information security standards.

System Model for Handling Emergency Events in a Distributed Boiler House Network Based on the Incident Lifecycle

G.B. Petrov, I.R. Badertdinov

Innopolis University, Innopolis;

Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow

Key words and phrases: system analysis; dispatching; boiler rooms; emergency event; incident lifecycle; SMS gateway; action log; industrial safety.

Abstract: The aim of the study is to develop and test a system model for handling emergency events in a distributed network of boiler houses, which provides traceability of the incident life cycle from the initial message to closure and calculation of response indicators. The research tasks included identifying information flow entities, describing incident states and transitions, forming a message processing algorithm, determining dispatcher response metrics, and testing the model on a pilot upload. The hypothesis of the study is that the separation of the “message – event – incident – action – metric” levels increases the controllability of emergency information and allows you to control the shift response without interfering with the boiler room automation. The methods of system analysis, process modeling, normalization of event messages, incident classification, and statistical processing of the operational log were used. According to the pilot operation log for 02.05.2026–19.05.2026, 180 records were analyzed for 24 objects, including 96 emergency and potentially emergency events. Results achieved: a structural model of the event loop is proposed, the states and actions of the incident are determined, the median time to the first action (66 seconds), the median time to contact the responsible person (100.5 seconds) are calculated, and the closure with the cause is recorded for 96 of the 96 events checked. It is shown that the model can be used as an accounting add-on to existing automation without remote control of the equipment.

Multi-Circuit Fuzzy Control of the Hot-Pressing Process in Plywood Production

N.A. Ivanov, Sh.Zh. Shaidinov, B.M. Shifrin, I.V. Eliseev

St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, St. Petersburg

Key words and phrases: hot pressing; plywood; veneer package; moisture content; fuzzy logic;

fuzzy controller; multi-circuit control; MATLAB Simulink; automation.

Abstract: This study addresses the challenge of improving control quality in the plywood hot-pressing process through the use of a multi-loop fuzzy controller. The core concept involves employing fuzzy logic to coordinate adjustments to temperature and pressure based on the calculated moisture content of the veneer assembly. A simulation model was developed in the MATLAB Simulink environment. For comparison, the study evaluated independent PID controllers for temperature and pressure alongside a Mamdani-type fuzzy controller utilizing input variables e_T , e_P , and e_W . Simulation results demonstrated that the fuzzy controller ensures a milder temperature-pressure regime: the maximum temperature decreased from 133.80 °C to 125.22 °C, and the pressure overshoot dropped from 0.13718 MPa to 0.054521 MPa. The final moisture content (W) achieved with fuzzy control was closer to the target value (W_{target}). These results confirm the potential of using fuzzy logic to optimize hot-pressing parameters in plywood manufacturing.

Application of Artificial Intelligence and the Actor Model in Distributed Control Systems for Adaptive Routing and Traffic Optimization. Part 1. Problem Statement and Review of Existing Approaches

M.A. Kravtsov, R.N. Mutalibov, E.O. Petrenko

*A.A. Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences;
Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow*

Key words and phrases: distributed control systems; actor model; artificial intelligence; machine learning; reinforcement learning; graph neural networks; routing; traffic engineering; software-defined networks; multi-agent systems.

Abstract: The growing volume and variability of network traffic make the contradiction between the two requirements for the control plane more acute: it must remain distributed and fault-tolerant, and at the same time make decisions that adapt to the current load. This article, the first of two, is devoted to the formulation of this problem and a critical analysis of approaches to its solution. Classical routing protocols and traffic engineering methods, reinforcement learning and graph neural networks in routing problems, and the actor model of computing as a way to build distributed control and multi-agent learning are consistently considered. The review shows that the distribution of the actor model and the adaptability of trained policies have so far developed separately, and the architecture where they are connected is essentially absent in the literature. Identifying and analyzing this gap is the content of the paper.

The Analysis of Methods and Algorithms for Constructing Digital Twins of Cyberphysical Production Systems

S.A. Soinov, A.A. Radionov

Moscow Polytechnic University, Moscow

Key words and phrases: digital twin; cyberphysical production system; modeling; data synchronization; forecasting; optimization; machine learning; industrial automation.

Abstract: The aim of the work is to systematize the methods of constructing digital twins of CFPS and determine their applicability in forecasting, optimization and management of production facilities. The review examines the conceptual foundations of digital twins (including the distinction between a digital model, a digital shadow, and a digital twin), classifies their construction methods into five groups – semantic-graph, simulation, co-simulation, data-based, and hybrid-and analyzes their application in energy management and predictive maintenance tasks, quality control and information security of production systems. It is shown that the choice of method is determined by the level of the production system, the availability of data, and the acceptable risk of interference in the process.

Hybrid modular architecture combining physical models, simulation, semantic descriptions, and machine learning are found to be the most promising. The main limitations of existing approaches are identified: data quality, model validation, platform compatibility, and enterprise organizational readiness.

A Strategy for Reducing Manual Refinement of Spatial Data through Automated Validation and Anomaly Analysis Procedures

M.A. Timofeev
Moscow

Key words and phrases: spatial data; automation; record validation; anomaly analysis; manual revision; edits.

Abstract: Increasing the volume and frequency of spatial data updates increases the importance of automated quality control and reducing manual refinement. Scientific objectives of the study: identification of the reasons for repeated manual revision, systematization of automated validation procedures, justification of the procedure for selecting anomalies for expert verification. The aim of the study is to develop a strategy for reducing manual refinement of spatial data based on automated validation and anomaly analysis. Research hypothesis suggests that coordination of record verification, anomaly detection, and grouping of revision causes reduces the complexity of spatial data control. Methods include general theoretical methods of analysis, synthesis, classification and generalization of scientific literature. The research findings: a) the structure of the strategy for reducing manual refinement is developed; b) a classification of the reasons for repeated refinement of spatial data is proposed; c) it is established that the reduction of manual operations depends on the relationship between record validation, anomaly detection, impact assessment and the list of edits; d) the separation of automated verification, expert evaluation and final refinement of spatial data is justified.

Empirical Mode Decomposition and Deep Learning in Solar Panel Diagnostics: State of the Art and Prospects

P.S. Fedkin, A.V. Makshanov
Admiral S.O. Makarov State University of the Sea and River Fleet, Saint Petersburg

Key words and phrases: solar panels; defect detection; convolutional neural networks; YOLOv8; empirical mode decomposition (EMD); two-dimensional EMD (BEMD); image preprocessing.

Abstract: The purpose of this review is to systematize and compare modern methods for automatic detection of solar panel defects from images, as well as to identify promising areas, including adaptive signal decomposition (EMD/BEMD) methods that can complement traditional CNN solutions.

The following tasks were set: classification of solar panel defect types and methods of their diagnostic survey; comparative analysis of convolutional neural network architectures (CNN with BiDIAF module, VGG-16, MobileNetV2, YOLOv8) according to accuracy criteria, computational complexity, and applicability conditions; evaluation of the potential of empirical mode decomposition and its two-dimensional expansion (BEMD) as an adaptive image preprocessing method.

The research hypothesis suggests that a hybrid approach combining adaptive filtering based on BEMD with neural network architectures will increase the stability of defect detection systems to noise and changing shooting conditions, as well as reduce the requirements for the volume of marked-up training samples.

The methodology of the work is based on theoretical analysis and generalization of the results presented in peer-reviewed sources (2018–2025). Methods of comparative analysis of CNN architecture are used, and data on the use of EMD/EEMD/BEMD in one-and two-dimensional signal processing tasks are systematized.

The study established that MobileNetV2 achieves the highest classification accuracy for close-range

images (91 %), whereas YOLOv8 shows the most promise for drone-based aerial imagery (84 % with integrated localization). Common limitations of CNN-based approaches were identified: the need for large annotated datasets, high computational costs, low interpretability, and sensitivity to noise. It was demonstrated that EEMD is successfully applied to anomaly detection in one-dimensional power system signals, while BEMD is used for processing textures and medical images. The study concludes that using BEMD as a preprocessing step before feeding images into neural networks, specifically the YOLO architecture, holds promise; however, the application of BEMD to thermographic images of solar panels remains under-researched and requires further investigation.

Current Problems of Industrial Automation in the Context of Data Economy Uncertainty

A.Yu. Chesalov
Atlansis Software Systems LLC, Tver

Key words and phrases: industrial automation; data economy; data uncertainty; predictable service; Dempster – Schafer theory; peripheral artificial intelligence.

Abstract: The article examines the key challenges facing industrial automation systems in the era of transition to a data economy. The fundamental contradictions between the growing volume of heterogeneous sensory information and the limited capabilities of traditional deterministic control systems are analyzed. Special attention is paid to the problem of uncertainty generated by contradictory, noisy and incomplete data from industrial Internet of Things devices. Conceptual approaches to the construction of stable automated systems for predictive maintenance are proposed.

The aim of the study is to systematize the current challenges of industrial automation in the new economic reality and suggest ways to overcome them based on the integration of advanced information technologies, including artificial intelligence, evidence theory and distributed computing. The paper analyzes architectural solutions, mathematical models, and ethical imperatives that make it possible to build reliable systems of predictable service in conditions of high uncertainty of initial information.

The practical significance of the study is confirmed by the registration of software modules for computers that implement the developed algorithms, as well as a detailed description of the organizational and technical stages of implementing predictable service systems. The results obtained create a theoretical foundation for building autonomous, sustainable and human-centered production ecosystems that meet the principles of Industry 4.0 and Industry 5.0.

Conditional Optimization of Recognition Functionals for Interval Systems of Equations

A.S. Androsov, S.P. Shary
Federal Research Center for Information and Computing Technologies, Novosibirsk

Key words and phrases: interval; interval analysis; interval system of linear equations; set of solutions; recognizing functionals; conditional optimization; penalty function; IntvalPy.

Abstract: The paper considers conditional (bounded) optimization of recognizing functionals for sets of solutions of interval systems of equations using the penalty function method. This statement occurs in problems where additional content requirements are imposed on the required parameters (for example, non-negativity). To take them into account, we suggest adding a penalty term to the recognition functionality. This allows you to preserve the unconditional problem statement and apply already developed methods of non-smooth optimization. Within the framework of this approach, the problem of maximizing the recognition functional under linear constraints on parameters was formulated, a penalty function for constraints of the type of equalities and inequalities was proposed, and it was shown that its use preserves important properties of the functionals under consideration. Numerical experiments show that the proposed approach makes it possible to find solutions that satisfy the given constraints, and to exclude meaningfully unacceptable estimates of parameters that may arise in the unconditional statement.

Methods for Selecting Steel Grades for Different Operating Environments

I.G. Chepovsky
VINTECH LLC, Kopeysk

Key words and phrases: steel grades; operating environment; metal products; structural elements; technical solution.

Abstract: Differences in urban, industrial and outdoor environments increase the importance of reasonable selection of steel grades for metal products and structural elements. The aim of the study is to develop a generalized model for the selection of steel grades, taking into account temperature, loads, corrosion impact and service life in various conditions of manufacturing and operation of metal products for infrastructure purposes. Scientific objectives of the study: systematization of operating conditions, comparison of steel properties with environmental parameters, justification of methods for choosing a technical solution. The research hypothesis suggests that matching the characteristics of the environment, structure, steel, and regulatory conditions increases the validity of material selection. Methods include general theoretical methods of analysis, synthesis, classification; conceptual modeling. Results achieved: the relevant steel grades are systematized; the main methods of their selection are highlighted; the connection of the operating environment with strength, ductility, impact strength, weldability and corrosion resistance is established; a model for choosing a steel grade and protecting a product is developed.

Sports Tourism as a Means of Preparing Students for Military Service

A.N. Anokhin
Orenburg State Pedagogical University, Orenburg, Russia

Key words and phrases: sports tourism; preparation for military service; students; pre-conscription youth; military-applied training; physical education; patriotic education.

Abstract: The article discusses the possibilities of sports tourism as a means of preparing students of high school and college age for military service. The relevance of the research is related to the need to develop not only physical qualities, but also applied skills, psychological stability, discipline, responsibility and readiness for action in a team. The aim of the study is to theoretically substantiate the pedagogical potential of sports tourism as a means of forming the physical, applied, psychological and team readiness of students for military service. In accordance with the set goal, the following tasks are set: to analyze the requirements for preparing young people for military service; to identify the meaningful correspondence of sports tourism to the tasks of military-applied training; to characterize the main components of training students by means of sports tourism; to determine the pedagogical conditions for its effective use in educational and extracurricular activities. The hypothesis of the study is that sports tourism can be an effective means of preparing students for military service, provided that it is purposefully used for the development of physical qualities, applied skills, orientation on the terrain, overcoming obstacles, first aid, psychological stability and team interaction. The methodological basis of the research is the analysis of scientific literature, pedagogical modeling, as well as generalization of our own practical experience in organizing and conducting classes, training events and competitions in sports tourism with students. As a result of the study, it was found that sports tourism has a pronounced military-applied and educational potential, since it combines motor, technical, tactical, communicative and civil-patriotic components. Sports tourism activities contribute to the development of endurance, strength and static-dynamic stability, coordination, orientation skills, overcoming natural and artificial obstacles, organizing life in the field, risk management, mutual assistance and collective responsibility. It is concluded that it is advisable to include sports tourism facilities in the system of training students for military service, while observing the principles of gradualism, safety, age adequacy, medical control and pedagogical reflection.

A Study of Practical Ways and Building a Model of Branded Training Courses on Musical Intangible Cultural Heritage for Heilongjiang Province Universities

*Wang Fei, Zhan Shubo
Heihe University, Heihe (China)*

Key words and phrases: higher education institutions; intangible cultural heritage; branded music courses.

Abstract: Heilongjiang Province (China) has rich resources of musical intangible cultural heritage (ICH) of many peoples. Creating branded ICH music training courses in universities is an important way to preserve and transmit the regional culture of Heilongjiang Province. This article analyzes the real problems that exist in music ICH courses at Heilongjiang universities, in order to provide theoretical and practical guidelines for building such courses in higher education institutions in Northeastern China.

The Role of Regional Texts in the Formation of Students' Regional Linguistics Competence in Russian Language Lessons

*E.A. Vasiliev, A.P. Olesova
North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk*

Key words and phrases: regional text; linguistic and regional competence; national and regional component; Russian language; teaching methods; local history; cultural approach; Federal State Educational Standard; Russian language lesson.

Abstract: The article examines the methodological potential of regional texts as a means of developing regional linguistics competence in Russian language lessons. The aim is to theoretically substantiate and show by example the methodological capabilities of regional texts for the formation of local linguistics competence of students. The hypothesis assumes that systematic inclusion of such texts increases motivation and contributes to the development of local history, communication, and socio-cultural competencies. Research methods include analysis of scientific literature, comparative analysis, generalization of pedagogical experience. Based on the analysis of theoretical approaches, the content of the concept of "regional linguistics competence" is revealed, the criteria for selecting texts and the stages of working with them are determined, and an example of implementation in the 5th grade is presented. The results confirm that the systematic use of regional texts ensures the achievement of subject, metasubject and personal results according to the Federal State Educational Standard.

Sports and Recreation Activities for Children with Disabilities

*A.A. Leonova, S.A. Zaguzova
Tambov State University named after G. R. Derzhavin, Tambov*

Key words and phrases: mental retardation; extracurricular activities; motor skills; correction; inclusive practices.

Abstract: The article presents a comprehensive sports and recreation program that focuses on the progress of key motor abilities, and on improving such important qualities for children with this developmental disability as strength, coordination of movements, and endurance. The objective is to study the effective possibilities of organizing additional sports and recreation extracurricular activities in inclusive physical education with students with intellectual disabilities. Research hypothesis is based on the assumption that correctly selected means and methods of developing motor abilities will contribute to improving performance and resynthesis of the health parameters of the desired contingent. Research methods include the analysis of theoretical sources, pedagogical observation, pedagogical experiment, conversations with teachers. The results obtained show that the conducted pedagogical experiment

demonstrated the effectiveness of the methodology developed by us. It is possible to improve the physical condition of schoolchildren with mental retardation, correct their motor disorders with the help of extracurricular activities of a sports and recreation orientation.

Training Cadets of Educational Organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia in Fire Training Using Virtual Reality Tools

A.V. Medvedev¹, S.N. Severin², O.V. Finikova¹, D.V. Fesenko¹

¹ I.D. Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation, Belgorod;

² Hero of the Russian Federation General of the Army E.N. Zinichev St. Petersburg State Fire Service University of the Ministry of Civil Defense, Emergencies and Disaster Management of the Russian Federation, St. Petersburg

Key words and phrases: fire training; virtual reality; innovative technologies; employees of internal affairs bodies; fire contact; skills improvement; information technologies.

Abstract: The article discusses the effectiveness and expediency of using virtual reality technologies for modeling various situations and solving problems of professional activity of employees of internal affairs bodies. The article analyzes the possibility of systematic use of this tool for developing and further improving the skills of law enforcement officers in fire contacts with offenders in various situations, as well as the ability to make operational decisions in conditions of extreme stress and unstable emotional state.

The study aims to improve the fire training of cadets of educational organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia. The research objectives are to analyze the scientific and methodological literature of fire training; to identify the most effective means and methods of training fire training using virtual reality tools in the fire training of cadets of educational organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia.

The research hypothesis assumes that training cadets of educational organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia in fire training using virtual reality tools contributes to the development of tactical thinking and decision-making skills in conditions of uncertainty.

Research methods include pedagogical observation, comparative experiment, analysis of results.

The research results are as follows. The results of the study will increase the effectiveness of fire training of cadets of educational organizations of the Ministry of Internal Affairs of Russia.

Influence of the Moodle Educational System on the Educational Autonomy and Learning Motives of Penza State Technical University Students in the Process of Learning a Foreign Language

Yu.V. Veldina, O.N. Yasarevskaya, E.A. Volnikova
Penza State Technological University, Penza, Russia

Key words and phrases: educational autonomy; educational motives; foreign language; student; teacher; MOODLE educational system.

Abstract: The purpose of this article is to consider the impact of modern ICT, namely, the MOODLE educational system, on the educational autonomy and learning motives of Penza State Technical University students in the process of learning a foreign language. The practical significance of the study lies in the attempt to analyze the impact of educational autonomy on learning motives in the process of learning a foreign language using the example of the MOODLE educational system. In the course of the study, the following methods were used: the continuous sampling method and the comparative method. The results of the study can be used in the field of foreign language teaching methods, as well as in the development of special courses and seminars.

Application of the “Flipped Classroom” Technology in the Organization of Extracurricular Work of Students

*R.I. Dyatlova, F.A. Nanai
MIREA-Russian Technological University, Moscow*

Key words and phrases: “flipped classroom”; extracurricular work of students; mixed learning.

Abstract: The article discusses the potential and practical aspects of implementing the “flipped classroom” technology to optimize extracurricular work of students in higher education institutions. The aim of the study is to identify effective ways to integrate this technology into the educational process and assess its impact on the quality of independent work of students. The hypothesis of the study is that the use of “flipped classroom” technology contributes to an increase in the level of students’ involvement in extracurricular activities, the development of self-organization skills and a deeper assimilation of educational material due to the redistribution of emphasis between independent and classroom work. To achieve this goal, the following tasks were solved: to reveal the essence and key principles of the “flipped classroom” technology; to analyze existing models of its application in higher education. Results of the study: students showed the development of metasubject competencies – skills of time planning, critical analysis of information, and teamwork. The results demonstrate the feasibility of further scaling the “flipped classroom” technology in the higher education system.

Technological Support for the Training of Specialists of Military-Political Bodies in a Military University

*S.V. Zaryaev, V.S. Ostapenko
Military Training and Research Center of the Air Force “Air Force Academy
named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin”;
Central Branch of V.M. Lebedev Russian State University of Justice, Voronezh*

Key words and phrases: military-political bodies; military universities; technological support; specialists in military-political work; areas of technological support.

Abstract: The purpose of the article is to formulate the main provisions of technological support for the process of training specialists of military-political bodies in a military university. The following tasks were set: to consider in the pedagogical aspect interactive and innovative forms, methods, tools, organizational measures, psychological support in relation to the stated topic; to identify and specify the main directions of technological support for training specialists in military-political work in specific conditions of a military university. The hypothesis suggests that the authors believe that improving the quality of training of specialists in military-political work can be effectively implemented in the implementation of the technological component of the process under study in a military university. Research methods included the study of scientific literature on the topic, abstraction, generalization, analysis, synthesis. Results are as follows: the implementation of the claimed technology will make it possible to intensify and improve the quality of the process under consideration in educational organizations of the Ministry of Defense of the Russian Federation.

Преподавание русского языка как иностранного в медицинском вузе: формирование профессиональной коммуникативной компетенции у иностранных студентов

*Е.Е. Орешина, Г.Л. Молибога, Т.В. Логина
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина», Тамбов*

Ключевые слова и фразы: русский язык как иностранный; коммуникативная компетентность; интерактивные методы обучения.

Аннотация: В статье рассматриваются общие аспекты преподавания русского языка как иностранного в медицинском вузе. Несмотря на то, что русский язык является неотъемлемой частью образования в России для иностранных студентов и предоставляет множество возможностей, изучать его сложно. Использование интерактивных методов обучения русскому языку, требующих активного участия учащихся в различных видах деятельности, способствует развитию коммуникативной компетентности и повышению эффективности изучения языка.

**Formation of Professional Competence of Novice Farmers:
Organizational and Methodological Support by Specialists in the Field of New Media
in the “University – Municipality” Partnership System**

*Sun Lei, Chang Wenshuo, Zhang Kun
Heihe University, Heihe (China)*

Key words and phrases: cooperation; authorities; specialty “New Media”; professional competence; methodology; municipality.

Abstract: The aim of the study is to provide theoretical justification and practical development of an organizational and methodological model for supporting novice farmers with specialists in the field of new media within the framework of the university – municipality partnership.

The objectives are to identify the key problems of existing practices of media support for agricultural activities; to determine the conceptual basis for building a system of training “new farmers”; to formulate and test ways to transform the role of university specialists in the development of local agricultural communities.

The hypothesis of the study is based on the assumption that the transition from an external, “transfusion” model of support to a model focused on the formation of internal communicative subjectivity of farmers is possible if the functions of university specialists as “cultural intermediaries” are rethought and the concept of “true beauty” (authenticity, localization and truthfulness) is introduced into the learning process and content-escorts.

Methods included theoretical analysis of scientific literature on the problem of interaction between universities and regional communities, generalization of practical experience of participation of specialists in the field of “New Media” of Heihe University in projects to support local farmers, the method of included observation and in-depth interviewing of participants in educational initiatives.

Results are as follows: a system of education based on the concept of “true beauty” is proposed, an approach of “careful selection – adaptation to local conditions – transmission of authenticity” is developed, in which the role of the university is transformed from a “content leader” to an “institutional intermediary”. The effectiveness of the proposed model in solving the problem of sustainability of information and propaganda activities to support agriculture is substantiated.

НАШИ АВТОРЫ

List of Authors

Александров В.О. – магистрант Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: viktor.a2202@gmail.com

Aleksandrov V.O. – Master's Student, National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: viktor.a2202@gmail.com

Портнов Е.М. – доктор технических наук, профессор Института системной и программной инженерии и информационных технологий Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: evgen_uis@mail.ru

Portnov E.M. – Doctor of Engineering, Professor, Institute of System and Software Engineering and Information Technologies, National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: evgen_uis@mail.ru

Борzych Н.Ю. – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики Института информационных технологий МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва, e-mail: allyru@yandex.ru

Borzykh N.Yu. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Applied Mathematics, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University, Moscow, e-mail: allyru@yandex.ru

Брагин А.С. – ассистент кафедры цифрового телерадиовещания и систем радиосвязи Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Новосибирск, e-mail: bragin_ant@mail.ru

Bragin A.S. – Assistant Lecturer, Department of Digital Broadcasting and Radio Communication Systems, Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, e-mail: bragin_ant@mail.ru

Кокорева Е.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры цифрового телерадиовещания и систем радиосвязи Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Новосибирск, e-mail: bragin_ant@mail.ru

Kokoreva E.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Digital Broadcasting and Radio Communication Systems, Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, e-mail: bragin_ant@mail.ru

Воронин Э.С. – магистрант Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: evoronin2002@yandex.ru

Voronin E.S. – Master's Student, National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: evoronin2002@yandex.ru

Дорогов В.Г. – кандидат технических наук, доцент Института системной и программной инженерии и информационных технологий (СПИНТех) Национального исследовательского университета

«МИЭТ», г. Москва, e-mail: evgen_uis@mail.ru

Dorogov V.G. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Institute of System and Software Engineering and Information Technologies (SPINTech), National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: evgen_uis@mail.ru

Жаравин Д.Е. – старший преподаватель кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета, г. Вологда, e-mail: zharavin.dima@yandex.ru

Zharavin D.E. – Senior Lecturer, Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University, Vologda, e-mail: zharavin.dima@yandex.ru

Суконщиков А.А. – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета, г. Вологда, e-mail: sukonshhikovaa@vogu35.ru

Sukonshchikov A.A. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Head of Department of Automation and Computer Engineering, Vologda State University, Vologda; e-mail: sukonshhikovaa@vogu35.ru

Зубарев М.А. – аспирант, ассистент Института киберфизических систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: mishaniya1121@yandex.ru

Zubarev M.A. – Postgraduate Student, Assistant, Institute of Cyber-Physical Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg; e-mail: mishaniya1121@yandex.ru

Нуйя О.С. – кандидат технических наук, доцент Института киберфизических систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург, e-mail: olganuuya@ya.ru

Nuya O.S. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Institute of Cyber-Physical Systems, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, St. Petersburg; e-mail: olganuuya@ya.ru

Комашинский В.В. – кандидат технических наук, доцент, старший эксперт департамента кибербезопасности АО «Альфа банк», г. Москва, e-mail: vladkom-spb@yandex.ru

Komashinsky V.V. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Senior Expert, Cybersecurity Department, Alfa-Bank JSC, Moscow, e-mail: vladkom-spb@yandex.ru

Комашинский Т.В. – аспирант Научно-производственного предприятия «Радар, ммс», г. Санкт-Петербург, e-mail: tihkoma@ya.ru

Komashinsky T.V. – Postgraduate Student, Radar MMS Research and Production Enterprise JSC, St. Petersburg, e-mail: tihkoma@ya.ru

Константинов Е.С. – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа Ивановского государственного химико-технологического университета, г. Иваново, e-mail: a.kochetkov@list.ru

Konstantinov E.S. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Systems Analysis, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo, e-mail: a.kochetkov@list.ru

Кочетков А.А. – аспирант Ивановского государственного химико-технологического университета, г. Иваново; генеральный директор ООО «ГКР», г. Москва, e-mail: a.kochetkov@list.ru

Kochetkov A.A. – Postgraduate Student, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Ivanovo; General Director, GKR LLC, Moscow, e-mail: a.kochetkov@list.ru

Коробко С.С. – магистрант Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: sergeikorobko554@gmail.com

Korobko S.S. – Master's Student, National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: sergeikorobko554@gmail.com

Рахимкулов З.М. – магистрант Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: zakhar@fishandfly.ru

Rakhimkulov Z.M. – Master's Student, National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: zakhar@fishandfly.ru

Куприянов В.В. – магистрант Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, e-mail: mail@kubsau.ru

Kupriyanov V.V. – Master's Student, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, e-mail: mail@kubsau.ru

Ефанова Н.В. – кандидат экономических наук, доцент кафедры системного анализа и обработки информации Кубанского государственного аграрного университета имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, e-mail: mail@kubsau.ru

Efanova N.V. – Candidate of Science (Economics), Associate Professor, Department of Systems Analysis and Information Processing, I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, e-mail: mail@kubsau.ru

Курилова Л.В. – бакалавр Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: evgen_uis@mail.ru

Kurilova L.V. – Bachelor's Student, National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: evgen_uis@mail.ru

Корнева И.С. – преподаватель Института системной и программной инженерии и информационных технологий (СПИНТех) Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: mkor62@mail.ru

Korneva I.S. – Lecturer, Institute of System and Software Engineering and Information Technologies (SPINTech), National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: mkor62@mail.ru

Дорогова Е.Г. – кандидат технических наук, доцент Института системной и программной инженерии и информационных технологий (СПИНТех) Национального исследовательского университета «МИЭТ», г. Москва, e-mail: egdoro@bk.ru

Dorogova E.G. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Institute of System and Software Engineering and Information Technologies (SPINTech), National Research University of Electronic Technology MIET, Moscow, e-mail: egdoro@bk.ru

Лобанов А.В. – старший преподаватель кафедры информационных компьютерных технологий Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, г. Москва, e-mail: lobanov.a.v@muctr.ru

Lobanov A.V. – Senior Lecturer, Department of Information and Computer Technologies, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, e-mail: lobanov.a.v@muctr.ru

Пысин М.Д. – старший преподаватель кафедры информационных компьютерных технологий Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, г. Москва, e-mail: pysin.m.d@muctr.ru

Pysin M.D. – Senior Lecturer, Department of Information and Computer Technologies, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, e-mail: pysin.m.d@muctr.ru

Кольцова Э.М. – доктор технических наук, профессор кафедры информационных компьютерных технологий Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, г. Москва, e-mail: koltsova.e.m@muctr.ru

Koltsova E.M. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Information and Computer Technologies, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, e-mail: koltsova.e.m@muctr.ru

Архипов А.М. – магистр Российского химико-технологического университета имени Д.И. Менделеева, г. Москва, e-mail: 200081@muctr.ru

Arkhipov A.M. – Master's Student, D.I. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, e-mail: 200081@muctr.ru

Мантуров А.О. – кандидат физико-математических наук, профессор кафедры прикладной информатики и моделирования Поволжского института управления имени П.А. Столыпина – филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Саратов, e-mail: manturov1970@yandex.ru

Manturov A.O. – Candidate of Science (Physics and Economics), Professor, Department of Applied Informatics and Modeling, P.A. Stolypin Volga Region Institute of Administration (branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration), Saratov, e-mail: manturov1970@yandex.ru

Пабияха М.С. – аспирант Поволжского института управления имени П.А. Столыпина – филиала Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, г. Саратов, e-mail: pabiahmaks2019@gmail.com

Pabiyakha M.S. – Postgraduate Student, P.A. Stolypin Volga Region Institute of Administration (Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration), Saratov, e-mail: pabiahmaks2019@gmail.com

Петров Г.Б. – магистрант Университета Иннополис, г. Иннополис, e-mail: i@glebpetrov.ru

Petrov G.B. – Master's Student, Innopolis University, Innopolis, e-mail: i@glebpetrov.ru

Бадертдинов И.Р. – кандидат технических наук, доцент кафедры архитектуры и реставрации Инженерной академии Российского университета дружбы народов имени Патриса Лумумбы, г. Москва, e-mail: i.badertdinov@tatar.ru

Badertdinov I.R. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Architecture and Restoration, Engineering Academy, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: i.badertdinov@tatar.ru

Иванов Н.А. – магистрант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, e-mail: sammer.men@mail.ru

Ivanov N.A. – Master's Student, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, St. Petersburg, e-mail: sammer.men@mail.ru

Шайдинов Ш.Ж. – магистрант Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, e-mail: shirali2001@mail.ru

Shaidinov Sh.Zh. – Master's Student, St. Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov St. Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, e-mail: shirali2001@mail.ru

Шифрин Б.М. – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации, метрологии и управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, e-mail: shifrinb@mail.ru

Shifrin B.M. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, Department of Automation, Metrology, and Control in Technical Systems, S.M. Kirov St. Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, e-mail: shifrinb@mail.ru

Елисеев И.В. – старший преподаватель кафедры автоматизации, метрологии и управления в технических системах Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург, e-mail: mmu49@mail.ru

Eliseev I.V. – Senior Lecturer at the Department of Automation, Metrology, and Control in Technical Systems, S.M. Kirov St. Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, e-mail: mmu49@mail.ru

Кравцов М.А. – аспирант Института машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва, e-mail: ma_kravtsov@mail.ru

Kravtsov M.A. – Postgraduate Student, A.A. Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: ma_kravtsov@mail.ru

Муталибов Р.Н. – аспирант Института машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук, г. Москва, e-mail: ragim.mutalibov@mail.ru

Mutalibov R.N. – Postgraduate Student, A.A. Blagonravov Institute of Machine Science of the Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: ragim.mutalibov@mail.ru

Петренко Е.О. – кандидат технических наук, доцент кафедры РК9 Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета), г. Москва, г. Москва, e-mail: arbuzov41@mail.ru

Petrenko E.O. – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor, RK9 Department, Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, e-mail: arbuzov41@mail.ru

Соинов С.А. – аспирант Московского политехнического университета, г. Москва, e-mail: info@ores.su

Soinov S.A. – Postgraduate Student, Moscow Polytechnic University, Moscow, e-mail: info@ores.su

Радионон А.А. – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автоматики и управления Московского политехнического университета, г. Москва, e-mail: info@ores.su

Radionov A.A. – Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Automation and Control, Moscow Polytechnic University, Moscow, e-mail: info@ores.su

Тимофеев М.А. – независимый исследователь, г. Москва, e-mail: 9856417599@acares.ru

Timofeev M.A. – Independent Researcher, Moscow, e-mail: 9856417599@acares.ru

Федькин П.С. – аспирант Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, г. Санкт-Петербург, e-mail: Pfedkin91@gmail.com

Fedkin P.S. – Postgraduate Student, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, e-mail: Pfedkin91@gmail.com

Макшанов А.В. – доктор технических наук, профессор кафедры вычислительных систем и информатики Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,

г. Санкт-Петербург, e-mail: Pfedkin91@gmail.com

Makshanov A.V. – Doctor of Engineering, Professor, Department of Computing Systems and Informatics, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, e-mail: Pfedkin91@gmail.com

Чесалов А.Ю. – кандидат технических наук, генеральный директор ООО «Программные системы Атлансис», г. Тверь, e-mail: achesalov@mail.ru

Chesalov A.Yu. – Candidate of Science (Engineering), General Director, Atlansis Software Systems LLC, Tver, e-mail: achesalov@mail.ru

Андросов А.С. – младший научный сотрудник Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, e-mail: astandrosov@yandex.ru

Androsov A.S. – Junior Researcher, Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Novosibirsk, e-mail: astandrosov@yandex.ru

Шарый С.П. – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий, г. Новосибирск, e-mail: shary@ict.nsc.ru

Shary S.P. – Doctor of Physics and Mathematics, Leading Researcher at the Federal Research Center for Information and Computational Technologies, Novosibirsk, e-mail: shary@ict.nsc.ru

Чеповский И.Г. – финансовый директор, технический директор ООО «ВИНТЕХ», г. Копейск, e-mail: chepovsky@acares.ru

Chepovsky I.G. – Financial Director and Technical Director, VINTECH LLC, Kopeysk, e-mail: chepovsky@acares.ru

Анохин А.Н. – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры безопасности жизнедеятельности, физической культуры и методики преподавания безопасности жизнедеятельности института физической культуры и спорта Оренбургского государственного педагогического университета, г. Оренбург, e-mail: skalalac@mail.ru

Anokhin A.N. – Candidate of Science (Pedagogy), Senior Lecturer, Department of Life Safety, Physical Education, and Life Safety Teaching Methodology, Institute of Physical Education and Sports, Orenburg State Pedagogical University, Orenburg, e-mail: skalalac@mail.ru

Ван Фэй – доцент Музыкального института Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: 18751143@qq.com

Wang Fei – Associate Professor, Music Institute, Heihe University, Heihe (China), e-mail: 18751143@qq.com

Чжань Шубо – старший преподаватель Музыкального института Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: 84015399@qq.com

Zhan Shubo – Senior Lecturer, Music Institute, Heihe University, Heihe (China), e-mail: 84015399@qq.com

Васильев Е.А. – аспирант Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: ergenvasilev@mail.ru

Vasiliev E.A. – Postgraduate Student, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: ergenvasilev@mail.ru

Олесова А.П. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры методики преподавания русского языка и литературы филологического факультета Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, г. Якутск, e-mail: olesovaantonina@mail.ru

Olesova A.P. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Methodology of Teaching Russian Language and Literature, Faculty of Philology, North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: olesovaantonina@mail.ru

Леонова А.А. – аспирант Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, e-mail: protopopowa.angelina@yandex.ru

Leonova A.A. – Postgraduate Student, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, e-mail: protopopowa.angelina@yandex.ru

Загузова С.А. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры организации тренерской деятельности Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, e-mail: s.zaguzova@mail.ru

Zaguzova S.A. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Coaching Organization, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, e-mail: s.zaguzova@mail.ru

Медведев А.В. – кандидат психологических наук, профессор кафедры психологии и педагогики Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, e-mail: a.medvedev.77@mail.ru

Medvedev A.V. – Candidate of Science (Psychology), Professor, Department of Psychology and Pedagogy, I.D. Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Belgorod, e-mail: a.medvedev.77@mail.ru

Северин С.Н. – старший преподаватель кафедры физической подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, г. Санкт-Петербург, e-mail: serega-siverin@yandex.ru

Severin S.N. – Senior Lecturer, Department of Physical Training, St. Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia named after Hero of the Russian Federation, Army General E.N. Zinichev, St. Petersburg, e-mail: serega-siverin@yandex.ru

Финикова О.В. – старший преподаватель кафедры психологии и педагогики Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, e-mail: finikova.olga@mail.ru

Finikova O.V. – Senior Lecturer, Department of Psychology and Pedagogy, I.D. Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Belgorod, e-mail: finikova.olga@mail.ru

Фесенко Д.В. – курсант Белгородского юридического института МВД России имени И.Д. Путилина, г. Белгород, e-mail: darinafesenko@gmail.com

Fesenko D.V. – Cadet, I.D. Putilin Belgorod Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Belgorod, e-mail: darinafesenko@gmail.com

Вельдина Ю.В. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков Пензенского государственного технологического университета, г. Пенза, e-mail: gusarovauvg@yandex.ru

Veldina Yu.V. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Foreign Languages, Penza State Technological University, Penza, e-mail: gusarovauvg@yandex.ru

Ясаревская О.Н. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков Пензенского государственного технологического университета, г. Пенза, e-mail:

olga-appointment@yandex.ru

Yasarevskaya O.N. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Foreign Languages, Penza State Technological University, Penza, e-mail: olga-appointment@yandex.ru

Вольникова Е.А. – старший преподаватель кафедры иностранных языков Пензенского государственного технологического университета, г. Пенза, e-mail: evolnikova74@ya.ru3

Volnikova E.A. – Senior Lecturer, Department of Foreign Languages, Penza State Technological University, Penza, e-mail: evolnikova74@ya.ru

Дятлова Р.И. – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры иностранных языков МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва, e-mail: dyatlova.r@internet.ru

Dyatlova R.I. – Candidate of Science (Pedagogy), Senior Lecturer, Department of Foreign Languages, MIREA – Russian Technological University, Moscow, e-mail: dyatlova.r@internet.ru

Нанай Ф.А. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков МИРЭА – Российского технологического университета, г. Москва, e-mail: dyatlova.r@internet.ru

Nanai F.A. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor, Department of Foreign Languages, MIREA – Russian Technological University, Moscow, e-mail: dyatlova.r@internet.ru

Заряев С.В. – адъюнкт Военно-учебного научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж, e-mail: szar1997@yandex.ru

Zaryaev S.V. – Postgraduate Researcher (Adjunct), Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, e-mail: szar1997@yandex.ru

Остапенко В.С. – доктор педагогических наук, профессор кафедры гуманитарных и социально-экономических дисциплин Центрального филиала Российского государственного университета имени В.М. Лебедева, г. Воронеж, e-mail: ostapenko-vl@yandex.ru

Ostapenko V.S. – Doctor of Education, Professor, Department of Humanities and Socio-Economic Disciplines, Central Branch of V.M. Lebedev Russian State University, Voronezh, e-mail: ostapenko-vl@yandex.ru

Орешина Е.Е. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры иностранных языков и профессионального перевода Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, e-mail: oreshekaterina@yandex.ru

Oreshina E.E. – Candidate of Science (Pedagogy), Associate Professor at the Department of Foreign Languages and Professional Translation, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, e-mail: oreshekaterina@yandex.ru

Молибога Г.Л. – кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков и профессионального перевода Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, e-mail: g.l.moliboga.88@mail.ru

Moliboga G.L. – Candidate of Science (Philology), Associate Professor, Department of Foreign Languages and Professional Translation, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, e-mail: g.l.moliboga.88@mail.ru

Логина Т.В. – кандидат филологических наук, доцент кафедры иностранных языков и профессионального перевода Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, e-mail: violet8905@rambler.ru

Logina T.V. – Candidate of Science (Philology), Associate Professor, Department of Foreign Languages and Professional Translation, Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, e-mail: violet8905@rambler.ru

Сунь Лэй – старший преподаватель Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: 26453769@qq.com

Sun Lei – Senior Lecturer, Heihe University, Heihe (China), e-mail: 26453769@qq.com

Чан Вэньшуо – старший преподаватель Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: dnduid@mail.ru

Chang Wenshuo – Senior Lecturer, Heihe University, Heihe (China), e-mail: dnduid@mail.ru

Чжан Кунь – кандидат наук, доцент кафедры физико-химических дисциплин Хэйхэского университета, г. Хэйхэ (Китай), e-mail: 4578457255@qq.com

Zhang Kun – PhD, Associate Professor, Department of Physicochemical Disciplines, Heihe University, Heihe (China), e-mail: 4578457255@qq.com

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ПЕРСПЕКТИВЫ НАУКИ
SCIENCE PROSPECTS
№ 8(203).2026.
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Подписано в печать 21.08.2026 г.
Дата выхода в свет 28.08.2026 г.
Формат журнала 60×84/8
Усл. печ. л. 26,27. Уч.-изд. л. 17,74.
Тираж 1000 экз.
Цена 300 руб.
16+
Издательский дом ООО «НТФ РИМ».